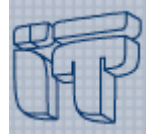




UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID
Departamento de Ingeniería Telemática



PROYECTO FIN DE CARRERA
(Ingeniería de Telecomunicación)

Diseño y desarrollo de un entorno de pruebas para redes de próxima generación

Autor: David Pinedo García

Tutor: Jaime García Reinoso

Leganés, Septiembre de 2008

Titulo: Diseño y desarrollo de un entorno de pruebas para redes de
próxima generación

Autor: David Pinedo García

Director: Jaime García Reinoso

EL TRIBUNAL

Presidente: _____ Francisco Valera Pintor _____

Vocal: _____ Matilde Sánchez Fernández _____

Secretario: _____ Norberto Fernández García _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 23 de Septiembre de
2008_ en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid,
acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Agradecimientos

Quiero dar las gracias ante todo, a mi tutor Jaime, sin quien este proyecto no hubiese sido lo que es, o ni tan siquiera hubiese sido. También al resto de profesores del proyecto MUSE, Paco e Iván, que me han ayudado a sacar esto adelante. A mis compañeros de laboratorio David y Joserra con quien tantos buenos ratos he compartido y con quien tantas cosas he aprendido en nuestras jornadas de investigación, desarrollo e integración.

Puesto que este es el hito que marca el fin de mi largo recorrido universitario, quiero aprovechar la ocasión, para dejar constancia de los muchos años hipotecado en un proyecto de formación del que no siempre se está seguro de obtener fruto. No sería justo recordar sólo el final. Hubo momentos en que pensé mandarlo todo a la mierda y otros en los que seguía sólo por obcecación, por no dar un paso atrás. Hasta que, al final, encontré mi sitio, hasta que me sentí a gusto y realizado con lo que hacía, con lo que aprendía, con mis compañeros que ahora también son amigos. Muchas veces ellos fueron también tutores y yo he procurado serles útil en la medida de mis posibilidades. Sin su apoyo quizá nunca hubiese acabado y seguramente todo hubiese sido más aburrido.

Ahora estoy contento: De haber sufrido y de haber superado obstáculos, de haber aprendido y haberme formado, no sólo en conocimientos técnicos que me sirvan para tal o cual labor remunerada, sino como persona, como ingeniero, como elemento de la sociedad.

Para mí, terminar es un triunfo y se lo quiero dedicar a mi familia, a mis compañeros de clase (a todos los que tuve), a mis amigos de la universidad y fuera de ella, a los que creyeron en mí y a los que no, a todos los profesores que me han impartido clases (incluso a los malos y a los rayos que nunca les partieron), a mis compañeros de Administración de Alumnos, al software libre, a Internet, al cine, la música, al viento, el agua, el alcohol, los libros, las horas mirando el techo, los paseos por las calles de Madrid, las carreras por el Retiro, a mi Herrera del Duque, a mi novia... A todo lo que hizo que no perdiera el norte y no cayese en la trampa de pensarme, solamente, como una herramienta de trabajo altamente cualificada, sino un hombre que piensa y sobre todo siente. Va por ustedes...

Quien mucho abarca, poco aprieta. Yo prefiero abarcar mucho. Ese fue el espíritu con el que surgió la universidad y a mí me gusta. *Especialistas en generalidades.*

Resumen

El presente proyecto fin de carrera, tiene como objetivo la definición de unas pruebas de rendimiento genéricas para Redes de Próxima Generación (Next Generation Networks, NGN). Para ello, se ha realizado una intensa tarea de investigación en recomendaciones ya existentes para otros tipos de redes de paquetes y en aspectos que aplican a las NGN como son la transmisión de vídeo y voz.

Primero se exponen los resultados de la investigación, ahondando en el concepto de NGN y presentando los organismos de estandarización implicados en su definición y desarrollo.

Seguidamente se comentan las principales recomendaciones y normativas que se han utilizado como base para el desarrollo de las pruebas de rendimiento sobre NGN.

Más tarde se pasa a la definición de unos parámetros genéricos de rendimiento, así como de una metodología para obtenerlos y la justificación de los mismos.

Para terminar se han aplicado las pruebas definidas a un prototipo de NGN, desarrollado bajo el proyecto de colaboración Europeo MUSE. Se muestran los resultados obtenidos y se comprueba la validez del prototipo.

Se incluye un anexo con el software utilizado, para la obtención de los distintos parámetros de rendimiento, así como sus opciones de configuración más destacables.

Palabras clave: NGN, IP, UDP, TCP, MOS, Jitter, ITU-T, ETSI, TISPAN, 3GPP, SIP, IMS

Índice

<i>1 Introducción.....</i>	<i>4</i>
1.1 <i>Redes de Próxima Generación, NGN (Next Generation Networks).....</i>	<i>5</i>
1.2 <i>Motivación.....</i>	<i>6</i>
1.3 <i>Objetivos y detalles del desarrollo.....</i>	<i>7</i>
1.1.1 <i>Notas sobre la red de pruebas.....</i>	<i>10</i>
1.4 <i>Estructura de la memoria.....</i>	<i>10</i>
<i>2 Estado del arte.....</i>	<i>11</i>
2.1 <i>Definición de NGN.....</i>	<i>11</i>
2.2 <i>Organismos de estandarización.....</i>	<i>13</i>
2.2.1 <i>ITU (International Telecommunication Union).....</i>	<i>13</i>
2.2.1.1 <i>Recomendación Y.2011.....</i>	<i>14</i>
2.2.1.2 <i>Recomendación Y.2012</i>	<i>15</i>
2.2.2 <i>ETSI (European Telecommunications Standards Institute).....</i>	<i>16</i>
2.2.3 <i>TTA (Telecommunications Technology Association).....</i>	<i>17</i>
<i>3 Recomendaciones referentes a pruebas sobre redes de paquetes.....</i>	<i>18</i>
3.1 <i>ITU-T.....</i>	<i>19</i>
3.1.1 <i>Serie P:.....</i>	<i>19</i>
3.1.2 <i>Serie G:.....</i>	<i>20</i>
3.1.2.1 <i>G.1000</i>	<i>20</i>
3.1.2.1 <i>G.1010</i>	<i>22</i>
3.1.2.1 <i>G.107</i>	<i>22</i>
3.1.3 <i>Serie I:.....</i>	<i>23</i>
3.1.3.1 <i>I.350</i>	<i>23</i>
3.1.4 <i>Serie Y:.....</i>	<i>26</i>
3.1.4.1 <i>Y.1540</i>	<i>26</i>
3.1.4.1 <i>Y.1541</i>	<i>26</i>
3.1.5 <i>Serie M:.....</i>	<i>27</i>
3.1.5.1 <i>M.2301</i>	<i>27</i>
3.2 <i>ATIS.....</i>	<i>29</i>
3.3 <i>Colaboración entre ITU y ATIS.....</i>	<i>29</i>

3.4	<i>Normas ISO/IEC</i>	30
3.5	<i>IETF</i>	30
3.6	<i>ETSI</i>	31
3.6.1	<i>Plugtests</i>	31
4	<i>Pruebas de rendimiento y calidad de servicio sobre NGN</i>	33
4.1	<i>Introducción</i>	33
4.2	<i>Parámetros de red</i>	34
4.2.1	<i>Medidas propuestas por ITU</i>	36
4.2.2	<i>Parámetros ETSI</i>	37
4.2.3	<i>Notas sobre la forma de realizar las pruebas</i>	39
4.2.4	<i>Ancho de banda (BW)</i>	39
4.2.5	<i>Jitter (IPDV) y pérdida de paquetes (IPLR)</i>	40
4.2.6	<i>RTT (Round Trip Time)</i>	41
4.3	<i>Medidas de calidad percibida por usuario final</i>	42
4.3.1	<i>Evaluación de la calidad de vídeo transmitido a través de NGN</i>	43
4.3.1.1	<i>Descripción de las pruebas</i>	45
4.3.1.2	<i>Métricas en las que se van a ofrecer los resultados:</i>	45
4.3.2	<i>Evaluación de la calidad de conversación de voz a través de NGN.</i>	47
5	<i>Resultados obtenidos sobre un prototipo de NGN</i>	49
5.1	<i>Descripción del escenario de pruebas</i>	49
5.2	<i>Parámetros de red</i>	52
5.2.1	<i>Ancho de banda (BW)</i>	52
5.2.2	<i>Jitter o IPDV</i>	55
5.2.3	<i>Pérdida de paquetes</i>	60
5.2.4	<i>RTT</i>	62
5.3	<i>Transmisión de vídeo</i>	64
5.3.1	<i>Descripción de los vídeos y del escenario de pruebas</i>	64
5.3.2	<i>Santana</i>	65
5.3.3	<i>Football</i>	67
5.3.4	<i>Akiyo</i>	67
5.4	<i>Conversación de voz</i>	69
5.4.1	<i>Flujo de audio, sin tráfico adicional en la red</i>	70
5.4.2	<i>Flujo de audio, con 60 Mbits/s de prioridad superior (Low Latency)</i>	72
5.4.3	<i>Flujo de audio con flujo de 80Mbits/s 200s de la misma calidad</i>	72
5.4.4	<i>Flujo de audio con flujo de 80Mbits/s de menor calidad (Elastic)</i>	74

6Conclusiones y trabajo futuro.....	75
6.1Trabajo futuro.....	77
7Anexo: Descripción del software utilizado.....	80
7.1Iperf.....	80
7.2Ping.....	82
7.3VQM.....	82
7.3.1Análisis de vídeo con VQM.....	83
7.4VLC.....	91
7.4.1Pasos para realizar el volcado de vídeo con VLC.....	92
7.5Media Coder.....	95
7.6Virtual Dub.....	97
7.6.1Recortar vídeos.....	99
7.6.2Concatenar segmentos de vídeo.....	99
7.6.3Descomprimir vídeo en formato RGB24.....	99
7.7VQManager.....	100
7.8SER (SIP EXPRESS Router).....	102
7.9Kapanga.....	103
8Referencias.....	104
8.1Entidades.....	104
8.2Recomendaciones ITU.....	105
8.3Recomendaciones ETSI.....	106
8.4Request for comments.....	107
8.5Software.....	107
8.6Otros recursos.....	109

1 Introducción

Este proyecto surge a raíz del trabajo realizado en el proyecto Europeo MUSE [MUSE], donde se implementó un prototipo de pasarela de acceso a Internet con funcionalidades de red de próxima generación (Next Generation Networks, NGN). Una vez terminado el desarrollo y comprobada la validez del prototipo, con una serie de pruebas básicas. Se planteó la cuestión de realizar una batería de pruebas exhaustivas que ofreciesen una medida fidedigna de la eficiencia del prototipo desarrollado, y a la vez que esas pruebas sirviesen como modelo para cualquier implementación de NGN.

Acorde a las funcionalidades implementadas en la pasarela se decidió que podía encuadrarse dentro del concepto NGN, de ahí que una parte importante del proyecto consista en describir y dejar lo más claro posible el concepto de NGN y los organismos implicados en su desarrollo

Respecto al tipo de pruebas, se pretendía que estuviesen basadas en recomendaciones ya existentes, pero este aspecto de las NGN es uno de los menos avanzados. En el proceso de investigación comenzaron a aparecer infinidad de tipos y metodologías de pruebas sobre diversas redes, pero ninguna orientadas a NGN. Por tanto, se dedica un apartado muy relevante a dar una breve descripción de las normativas y los diferentes tipos de pruebas y parámetros que pretenden cuantificar. Se incluyen referencias a los documentos más relevantes, para aquellos que deseen profundizar en cualquiera de los aspectos aquí tratados.

A partir de toda la información recopilada se definieron una serie de pruebas y parámetros, siempre avalados por recomendaciones de algún organismo oficial de estandarización, que pudieran ser aplicadas a una NGN cualquiera.

Finalmente, tanto para avalar la implementación de la pasarela del laboratorio como la metodología de pruebas desarrollada. Se aplicaron las pruebas sobre el prototipo y se mostraron y comentaron los resultados.

Adicionalmente y para que este proyecto sirva de base y apoyo a otros que se desarrollen en esta línea, se ha documentado el software utilizado, las diferentes opciones de configuración y las dificultades encontradas.

En el apartado de conclusiones se dan referencias para continuar el trabajo aquí comenzado, con algunos tipos de pruebas y software interesantes que abarcarían objetivos que se han dejado fuera desde un principio por exceder los objetivos del proyecto.

1.1 Redes de Próxima Generación, NGN (Next Generation Networks)

Podría decirse que las Redes de Próxima Generación, NGN (Next Generation Networks), son un modelo tanto de red como de negocio, hacia el que deben tender las redes actuales.

- En cuanto al modelo de negocio de NGN, el aspecto más importante es la división de la red en dos capas verticales, donde la más baja es la de transporte de datos. Esta capa es la encargada de proveer conectividad a los usuarios entre sí y con los proveedores de servicio. La conectividad incluye soporte a la movilidad y debe ser independiente de la tecnología de acceso.

La capa más alta es la capa de servicios, donde cualquier compañía puede prestar sus servicios a través de la capa de transporte.

La idea pues, consiste en la independencia entre las empresas que prestan servicios y las que proveen acceso, de forma que sea posible la introducción de competencia en el sector de las telecomunicaciones y a la vez en los dos niveles, transporte y servicios. Esto parece fácil de conseguir en la capa de servicios, donde ya existe un gran auge de empresas que ofertan servicios, tales como, voz sobre IP, descarga de música, videos, etc. sobre las redes de los principales operadores. En la capa de transporte también puede lograrse gracias a que las NGN pretenden que cualquier usuario tenga acceso a cualquier servicio independientemente de la tecnología de acceso, UMTS, LAN, Wimax, etc. Además se pretende que un usuario pueda pasar de una red a otra sin que exista una interrupción del servicio y de forma segura.

- En cuanto al modelo de red, hay algunos aspectos de las NGN en los que existe un acuerdo generalizado entre los diferentes organismos de estandarización, que por otro lado son la evolución lógica de las redes actuales, con la tendencia “All IP”. Algunos de los principales aspectos son:
 - Redes de paquetes.
 - Banda ancha.
 - Movilidad.
 - Múltiples tecnologías de acceso.
 - Separación en dos capas: Servicio y transporte.
 - Calidad de servicio.

En general, la tecnología a utilizar para el envío de paquetes es IP. Se pretende integrar todo tipo de servicio, datos, vídeo, llamadas, etc. bajo la misma red. Para conseguir esto, es

necesario que existan mecanismos para diferenciar los diferentes flujos y pueda aplicárseles una determinada calidad de servicio extremo a extremo.

El concepto NGN está aún en desarrollo, sólo ITU (International Telecommunication Union) define y describe las NGN en una de sus recomendaciones. ETSI (European Telecommunications Standards Institute) ha publicado algunos borradores en que aborda dicha definición, basada en la de ITU, pero no ha publicado aún un documento oficial.

Donde sí existe un mayor desarrollo, es en la definición de recomendaciones para el interfuncionamiento de NGN con otras redes, ya que se pretende que el cambio sea gradual y por tanto las NGN han de convivir con las tecnologías actuales. Así mismo, existe un acuerdo generalizado en la definición de una arquitectura para el establecimiento de sesión, donde se impone la estructura IMS [IMS].

Sobre todo el ETSI, está realizando esfuerzos para hacer converger las redes móviles con las fijas e integrarlo todo dentro del concepto NGN. Además existen numerosas recomendaciones donde se habla de la emulación de servicios típicamente analógicos, como por ejemplo las llamadas telefónicas, sobre redes de paquetes.

La estructura IMS y los protocolos para el establecimiento de sesión, como SIP (Session Initiation Protocol) [RFC3261], son los pilares sobre los que se basa el desarrollo de las NGN, al integrar la red móvil con la red cableada y permitir que cualquier usuario se conecte a su servidor, independientemente de cual sea su situación geográfica o el tipo de red sobre la que accede. De esta forma el usuario accede a una serie de servicios contratados, cuyo estado y configuración se encuentran almacenados en dicho servidor.

1.2 Motivación

Una vez conocido el estado actual de las NGN comienza la búsqueda de recomendaciones sobre pruebas de rendimiento en estas redes. Apenas existe documentación, ya que al estar en fase de desarrollo no han sido necesarias dichas pruebas, aunque sí que existe una voluntad de los organismos de estandarización de llevarlas acabo.

La necesidad de realizar las pruebas, surge a raíz del trabajo realizado en laboratorio, en la implementación de una pasarela de acceso con soporte para NGN, en el marco del proyecto europeo MUSE. Una vez llegado el final del trabajo, se hizo necesario validar el diseño, realizando algún tipo de pruebas que diesen una medida de la calidad de funcionamiento y que pudiesen ser comparadas con las de otros proveedores de red.

Donde sí existe mayor documentación, es sobre test de conformidad de protocolo y test de interfuncionamiento entre protocolos distintos. Las primeras (conformidad de protocolo) son pruebas en las que se describen los flujos de mensajes que deben intercambiarse dos entidades ante determinadas acciones. Las segundas (interfuncionamiento entre protocolos) van destinadas al interfuncionamiento entre redes NGN y redes no NGN. ETSI ha publicado numerosos documentos donde se describen los mensajes a intercambiar en puntos específicos de una red y bajo condiciones determinadas.

El paso de la tecnología actual a NGN se plantea como una transición progresiva por lo que tendrán que convivir ambas tecnologías.

Las pruebas de interfuncionamiento, están orientadas sobre todo a las entidades que se encargan de desarrollar la implementación de un determinado protocolo. Este proyecto da por supuesto que dicha implementación de protocolos es correcta, y lo que pretende es evaluar la eficacia del hardware, el software y el modelo de red implementado.

Debido a la falta de documentación respecto a pruebas de rendimiento sobre NGN y el gran valor que tienen dichas pruebas, tanto para desarrolladores como para clientes finales. Se ha decidido indagar en ello y ofrecer una primera aproximación, poniendo de relieve los aspectos que se consideran más relevantes, buscando software apropiado y ofreciendo unas medidas que pueden resultar útiles a los que deseen ofrecer servicios sobre NGN y a los usuarios finales, que dispondrán de una serie de valores sobre los que comparar el rendimiento de la red y las diferentes tecnologías de acceso.

Sobre todo, nos parecía muy interesante proporcionar medidas de calidad de servicios típicamente analógicos como son, por ejemplo, la conversación y el vídeo. Aquí sí existe una amplia documentación y recomendaciones que hablan sobre los diferentes efectos no deseados que introduce la digitalización de dichas señales. Así mismo existen recomendaciones sobre los requisitos mínimos de una determinada red para soportar dichos servicios. Sobre todo estábamos interesados en medidas automáticas de la calidad, realizadas por medio de software. Porque la mayoría de los estándares actuales hablan de calidad percibida por un grupo de personas, y cómo ha de escogerse a las mismas y presentarles las distintas imágenes, audio, etc. Realizar las medidas mediante software garantiza su independencia temporal y física de los resultados.

1.3Objetivos y detalles del desarrollo.

El objetivo del proyecto es definir unas pruebas de rendimiento genéricas sobre NGN. Antes de proceder a la definición de las pruebas, se ha analizado el estado actual de las NGN: ¿Qué son?, ¿Qué organismos de estandarización están trabajando en las mismas? ¿Qué estándares de otras redes se pueden aplicar?, etc. Una vez recopilada la información y definidas las pruebas se procedió a validar el diseño de un prototipo de red, ejecutando dichas pruebas sobre el mismo y presentando los resultados obtenidos.

Este proyecto no abarca únicamente aspectos teóricos y normativos sobre NGN, sino que también incluye detalles de software apropiado para realizar las pruebas, así como de sus ventajas, inconvenientes y dificultades encontradas durante su uso.

Al tratarse de pruebas de rendimiento, están muy relacionadas con la capacidad soportada por la red de acceso. La capacidad de las redes cableadas es muy superior a la de las inalámbricas, tanto en velocidad de transmisión como en tasa de errores.

Las NGN son redes de banda ancha y orientadas a la integración de todos los servicios en una única red (televisión, llamadas de voz, video-conferencia, internet, etc.) Por tanto se han orientado las pruebas a asegurar la calidad de los servicios multimedia, que son los más sensibles ante un mal rendimiento de la red.

Para conseguir la máxima generalidad, en la realización de las pruebas, se hace necesario tomar las medidas en los extremos de la red, ya que de otra forma habría que definir unos puntos intermedios que dependerían del tipo de red, lo que va en contra del concepto de NGN, que pretende una integración de tecnologías muy variadas.

En resumen: Son pruebas orientadas a usuario final y a garantizar unos servicios básicos que satisfagan las posibles necesidades de los proveedores de servicios y de sus clientes. Haciendo especial énfasis en los servicios multimedia, puesto que son los que más restricciones imponen a la hora de atravesar una red, ya que requieren gran ancho de banda y son muy sensibles al retardo y a las variaciones del mismo. Las pruebas garantizan que la capa de transporte cumple unos determinados requisitos a los que la capa de servicios puede acogerse.

No se han tratado temas de movilidad, ni seguridad, así como no se ha tenido en cuenta el comportamiento de las empresas proveedoras (servicio de atención al cliente, interrupción del servicio...) a la hora de obtener las medidas, por exceder el objetivo del proyecto.

El mayor esfuerzo se ha realizado en comprobar la eficacia de la implementación de la calidad de servicio y en su eficacia a la hora de cursar tráfico multimedia.

Otra tarea importante dentro del proyecto ha sido la búsqueda de software apropiado para la realización de las pruebas. Se dedica un apartado para la descripción de las principales funcionalidades de dicho software, dentro del proyecto.

Las pruebas se han clasificado en dos grandes grupos:

- Medidas de parámetros de red: Retardo, pérdida de paquetes, etc.
- Medidas de calidad percibida por el usuario final: Calidad de vídeo y audio.

Ambas son medidas extremo a extremo. Las primeras están más orientadas a los

proveedores de la capa de transporte y las segundas a los proveedores de servicios.

Las pruebas de calidad percibida por el usuario final, son pruebas destinadas a servicios que podríamos considerar básicos en una NGN. Estas han sido pruebas de calidad de video y de audio, que son los componentes básicos de otros servicios multimedia basados en su agregación y combinación con el tráfico de datos (como video conferencia, pizarra virtual, telemedicina...). Estas pruebas se pueden realizar sea cual sea la tecnología de acceso, con los ajustes necesarios en función del ancho de banda disponible.

El tráfico de datos se considera caracterizado con las pruebas de parámetros de red, ya que estas consisten en enviar tráfico masivo de datos y observar el retardo, jitter y pérdida de paquetes.

Quizá, lo más novedoso del proyecto son las pruebas de calidad de audio y vídeo trasladadas a redes de paquetes.

En cuanto a medidas de parámetros de red, el trabajo más duro ha consistido en seleccionar el tipo de pruebas más convenientes a las NGN, sobre las ya existentes para redes actuales, tanto redes cableadas, como móviles. En este ámbito existen numerosas recomendaciones, pero todas ellas específicas de una determinada arquitectura de red, o de un protocolo o nivel OSI [OSI] determinado.

Para las medidas de calidad percibidas por el usuario final también ha sido ardua la tarea de seleccionar pruebas ya desarrolladas sobre calidad de vídeo y audio. Para este tipo de señales existen numerosos trabajos, normativas y recomendaciones, orientados a dar una medida de su calidad al sufrir diferentes procesados o transmisiones. Existiendo medidas absolutas y otras relativas a un vídeo o audio original. Pero como se ha dicho anteriormente la mayoría de las recomendaciones, requieren reunir un grupo de personas que opinen sobre la calidad. Otros modelos están orientados a señales analógicas, como el modelo PSNR [ITU-J.144], que pueden no resultar muy indicativos de la degradaciones que introduce la digitalización de estas señal

1.4 Notas sobre la red de pruebas

El prototipo a validar es una red cableada con capa física 100Mbit/s Ethernet, utilizando el protocolo IPv4.

Al haber empleado una red cableada, con IP sobre Ethernet, para materializar los resultados de las pruebas presentados, las medidas están orientadas a este tipo de arquitectura y

medio de acceso, si bien podrían trasladarse a cualquier red por conmutación de paquetes.

Resulta difícil abstraer este tipo de medida de la tecnología de acceso, ya que, por ejemplo en medios inalámbricos pueden resultar críticos parámetros muy distintos, como pueden ser errores de bit o desvanecimientos.

1.5 Estructura de la memoria

En el capítulo 2 se exponen los resultados de la investigación sobre el estado actual de desarrollo de NGN, ahondando en el concepto de NGN y presentando los organismos de estandarización implicados en su definición y desarrollo.

En el capítulo 3 se comentan las principales recomendaciones y normativas que se han utilizado como base para el desarrollo de las pruebas de rendimiento sobre NGN.

En el capítulo 4 se pasa a la definición de unos parámetros genéricos de rendimiento, así como de una metodología para obtenerlos, y la justificación de los mismos.

En el capítulo 5 se han aplicado las pruebas definidas a un prototipo de NGN, desarrollado bajo el proyecto de colaboración europeo MUSE. Se presenta la estructura de la red, se muestran los resultados obtenidos y se comprueba la validez del prototipo.

El capítulo 7 es un anexo con el software utilizado, para la obtención de los distintos parámetros de rendimiento, así como sus opciones de configuración más destacables.

2 Estado del arte

En este apartado se va a ofrecer una visión general del estado en que se encuentran las NGN, se va a abordar la definición de NGN a partir de las recomendaciones de cada uno de los organismos de estandarización. Se van a comentar las funciones de esos organismos de estandarización, el ámbito en que operan, el material desarrollado y publicado por los mismos y su aplicación a este proyecto.

2.1 Definición de NGN

La definición que se va a considerar en este proyecto es la propuesta por el ITU-T en su recomendación Y.2001 [ITU-Y.2001] . Otros organismos como el ETSI, en sus publicaciones no oficiales (“Drafts”), basan en esta recomendación del ITU su definición de NGN.

A continuación se detalla la definición, objetivos y características fundamentales de las NGN tal y como está descrito en la recomendación Y.2001:

Red de próxima generación (NGN): Red basada en paquetes que permite prestar servicios de telecomunicación y en la que se pueden utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha que permiten ofrecer una cierta QoS (Quality of Service o Calidad de Servicio), y en la que las funciones relacionadas con los servicios son independientes de las tecnologías subyacentes relacionadas con el transporte. Permite a los usuarios el acceso sin trabas a redes y a proveedores de servicios y/o servicios de su elección. Se soporta movilidad generalizada que permitirá la prestación coherente y ubicua de servicios a los usuarios.

Los objetivos de la NGN son:

- Promover una competencia justa;
- Alentar la inversión privada;
- Definir un marco para la arquitectura y capacidades que permitan cumplir diversos requisitos reglamentarios;
- Ofrecer un acceso abierto a las redes;

pero:

- Asegurando la prestación y el acceso universales a los servicios;
- Favoreciendo la igualdad de oportunidades de los ciudadanos;
- Promoviendo la diversidad de contenido, incluida la diversidad cultural y lingüística;
- Reconociendo la necesidad de cooperación mundial, con particular atención a los países menos adelantados.

La NGN puede definirse por las siguientes características fundamentales:

- Transferencia basada en paquetes;
- Separación de las funciones de control en capacidades de portador, llamada/sesión, y aplicación/servicio;
- Separación entre la prestación del servicio y el transporte, y la provisión de interfaces abiertas;
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en bloques de construcción del servicio (incluidos servicios en tiempo real/de flujo continuo en tiempo no real y multimedia);
- Capacidades de banda ancha con QoS extremo a extremo;
- Interfuncionamiento con redes tradicionales a través de interfaces abiertas;
- Movilidad generalizada;
- Acceso sin restricciones de los usuarios a diferentes proveedores de servicios;
- Variedad de esquemas de identificación;
- Percepción por el usuario de características unificadas para el mismo servicio;
- Convergencia de servicios entre fijo y móvil;
- Independencia de las funciones relativas al servicio con respecto a las tecnologías de transporte subyacentes;
- Soporte de múltiples tecnologías de la última milla;
- La conformidad con todos los requisitos reglamentarios, por ejemplo en cuanto a comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.

El presente proyecto se va a centrar en las capacidades de banda ancha con QoS extremo a extremo y en la percepción final del usuario de unos determinados servicios que se considerarán básicos en una NGN.

2.2 Organismos de estandarización

Después de una amplia búsqueda de documentación en la literatura disponible, en este proyecto se van a presentar los estudios y normas de varios organismos de estandarización, aunque centrándose en el ETSI [ETSI] y el ITU [ITU]. Ambos tienen gran cantidad de normas desarrolladas y disponibles de forma gratuita para cualquier usuario, en especial, en temas relevantes para este proyecto.

2.2.1 ITU (International Telecommunication Union)

Es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de regular las tecnologías de la información y la comunicación, a nivel internacional, entre las distintas administraciones y empresas operadoras.

La parte del ITU que aborda los aspectos de las NGN es el ITU-T que se encarga de la normalización de las telecomunicaciones.

La forma en que están organizadas las normas ITU sobre NGN es la siguiente:

- Marcos y modelos arquitecturales funcionales Y.2000–Y.2099
- Calidad de servicio y calidad de funcionamiento Y.2100–Y.2199
- Aspectos relativos a los servicios: capacidades y arquitectura de servicios Y.2200–Y.2249
- Aspectos relativos a los servicios: interoperabilidad de servicios y redes en las redes de próxima generación Y.2250–Y.2299
- Numeración, denominación y direccionamiento Y.2300–Y.2399
- Gestión de red Y.2400–Y.2499
- Arquitecturas y protocolos de control de red Y.2500–Y.2599
- Seguridad Y.2700–Y.2799
- Movilidad generalizada Y.2800–Y.2899

Muchas de estas normas están aún en desarrollo o sin publicar. Aún así, la definición y el comportamiento de las NGN dado por la ITU-T es ampliamente aceptado por el resto de organismos de estandarización, incluido el ETSI.

A continuación se dan algunos detalles de la organización que propone el ITU-T de las NGN.

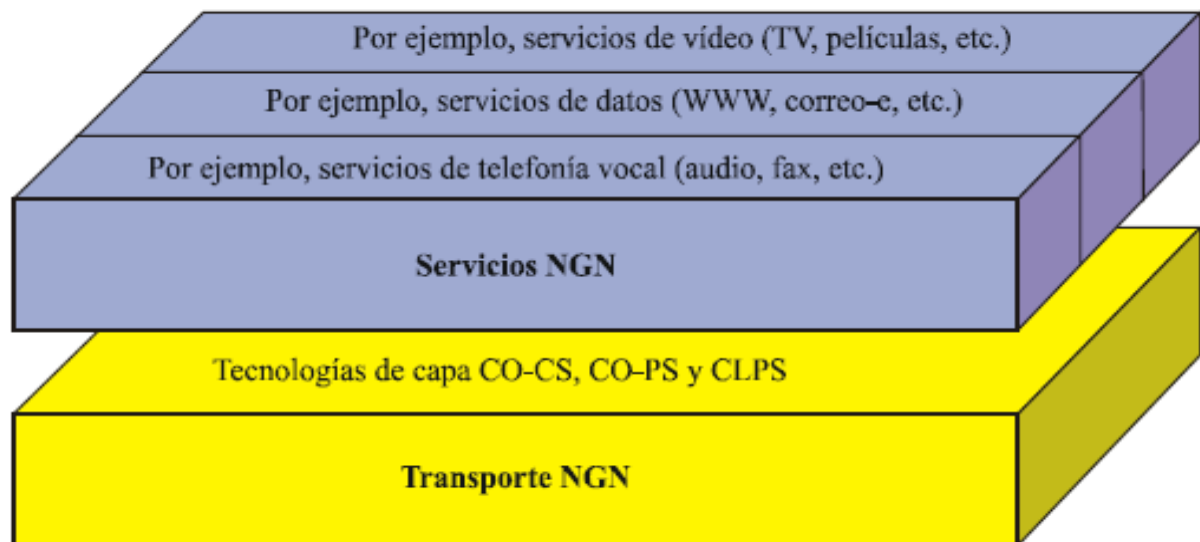
2.2.1.1 Recomendación Y.2011

(Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación)

Aquí, la ITU hace especial hincapié en la división de las redes en dos planos funcionales: transporte y servicio (como puede observarse en Figura 1) y cómo ambos planos deberían estar gestionados por diferentes organismos, de forma que haya compañías dedicadas a la provisión de la infraestructura de transporte y otras que puedan ofrecer sus servicios sobre dicha infraestructura.

En particular, las funciones del estrato de transporte son:

- Conectividad entre usuarios;
- Conectividad entre el usuario y la plataforma de servicios;
- Conectividad entre plataformas de servicio.



Y.2011_F01

Figura 1: Separación entre servicios y transporte en la NGN (ITU Y.2011)

Cada estrato está formado por una o varias capas, que a su vez están conceptualmente compuestas de un plano de datos (o de usuario), un plano de control y un plano de gestión.

Cada una de las siete capas del OSI BRM [OSI] define funciones y características de servicio muy específicas. En una NGN, los servicios y funciones pueden estar distribuidos de manera bastante diferente.

En la recomendación Y.2012, se entra en mayor detalle en los diferentes niveles y capas que pueden distinguirse dentro de una NGN. También se detallan mecanismos de facturación e interconexión con otras redes.

2.2.1.2 Recomendación Y.2012

(Requisitos funcionales y arquitectura de la red de próxima generación)

En la Figura 2 se puede ver la estructura propuesta por el ITU.

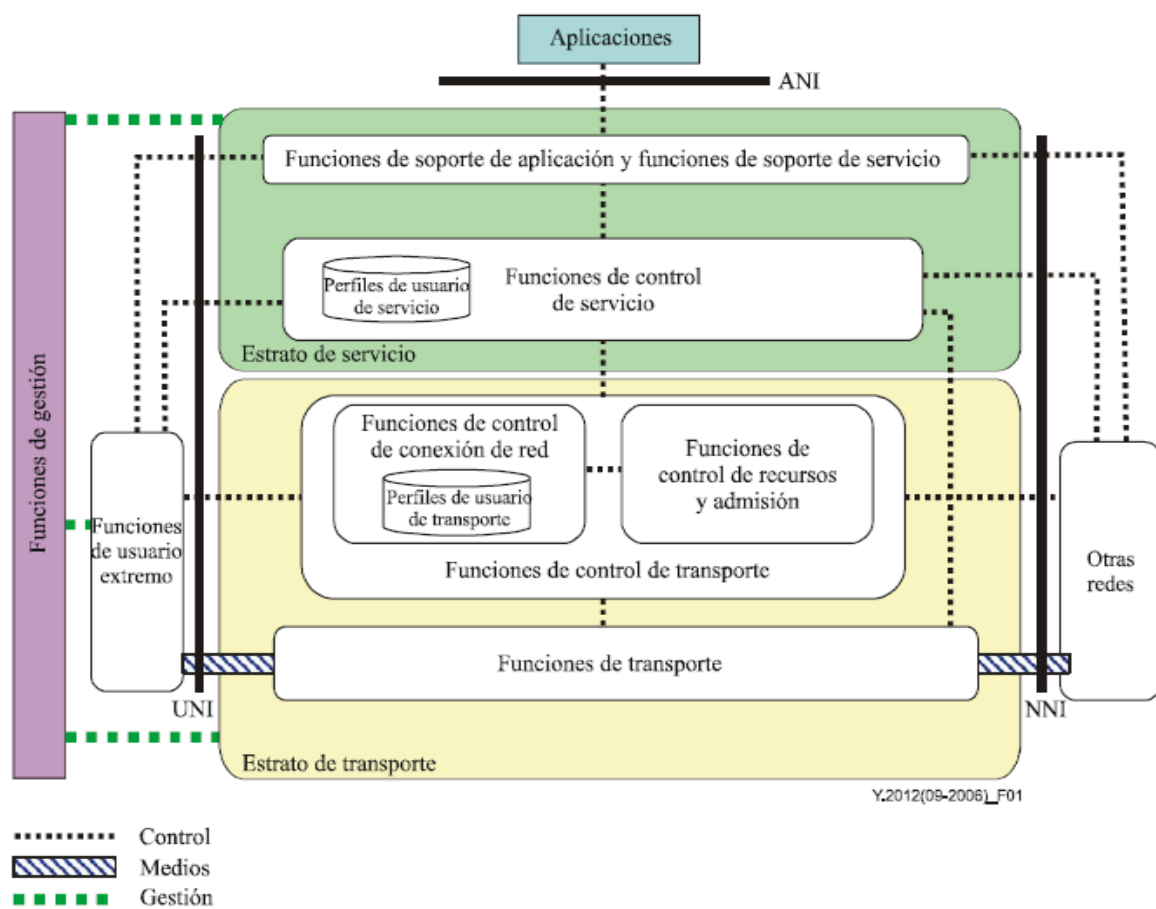


Figura 2: Visión general de la arquitectura NGN (ITU Y.2012)

ITU-T ha escogido IMS (IP Multimedia Subsystem) [IMS] como soporte en los servicios basados en sesión y en otros protocolos de inicio de sesión, como por ejemplo SIP (Session Initiation Protocol) [RFC3261]. La implementación de IMS es la misma que propone el 3GPP y por tanto la misma que utiliza el ETSI.

Los aspectos de IMS referentes a NGN descritos por el ITU-T se encuentran en la recomendación Y.2021

2.2.2 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)

ETSI [ETSI] es un organismo independiente y sin ánimo de lucro de estandarización del sector de las telecomunicaciones en Europa y con proyección mundial.

TISPAN (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking) [TISPAN] es uno de los principales organismos dentro del ETSI. Además ETSI colabora con 3GPP (3rd Generation Partnership Project) [3GPPP].

3GPP y TISPAN son dos organismos que trabajan en temas de redes de comunicaciones. 3GPP centra su actividad en redes móviles, mientras que TISPAN lo hace en redes fijas. 3GPP no trabaja en la definición de NGN pero colabora con TISPAN para que dentro de las NGN se imponga IMS.

TISPAN centra su trabajo en las redes fijas y en su migración de circuitos conmutados a redes basadas en conmutación de paquetes. La mayor parte de sus recomendaciones se centran en la estructura IMS como núcleo central de las NGN y en como compatibilizarla con redes tradicionales PSTN. Podría decirse que las recomendaciones del ETSI tienen un sentido más práctico que las del ITU, ya que el ETSI realiza un mayor esfuerzo de integración de los servicios de NGN en las redes actuales.

ETSI no tiene publicada ninguna definición oficial de las NGN, aunque sí ha lanzado varios borradores (“Drafts”) y versiones de los mismos donde la definición que ofrece de las NGN está basada en la de la ITU.

A partir de la “Release 2” TISPAN aborda la división de funcionalidad de las NGN en dos planos “Service Capabilities” y “Application Capabilities”. Las “Service Capabilities” son elementos reutilizables que pueden agregarse para ofrecer “Application Capabilities”. Es una división en dos planos de los servicios, no de la estructura de la red. En la recomendación ETSI TR 181 004 V1.1.1 [ETSI-TR-181] se puede observar más afondo estos aspectos.

Algunos “Service Capabilities” son: Chat, MMS (Multimedia Message Service), videoconferencia, audio streaming, etc. Son servicios muy orientados a redes móviles.

ETSI acepta la división de la arquitectura de red en dos planos (servicio y transporte) propuesta por el ITU-T.

- En el plano de servicio se incluye:
 - El núcleo IP Multimedia Subsystem (IMS)
 - El PSTN/ISDN Emulation Subsystem (PES)
 - Otros subsistemas multimedia (streaming, broadcasting de contenidos, etc.) y aplicaciones.
 - Otros componentes comunes (utilizados por varios subsistemas) como aquellos necesarios para acceder a aplicaciones, gestión de perfiles, gestión de seguridad, bases de datos de rutas, etc.
- El plano de transporte
 - Provee de conectividad IP

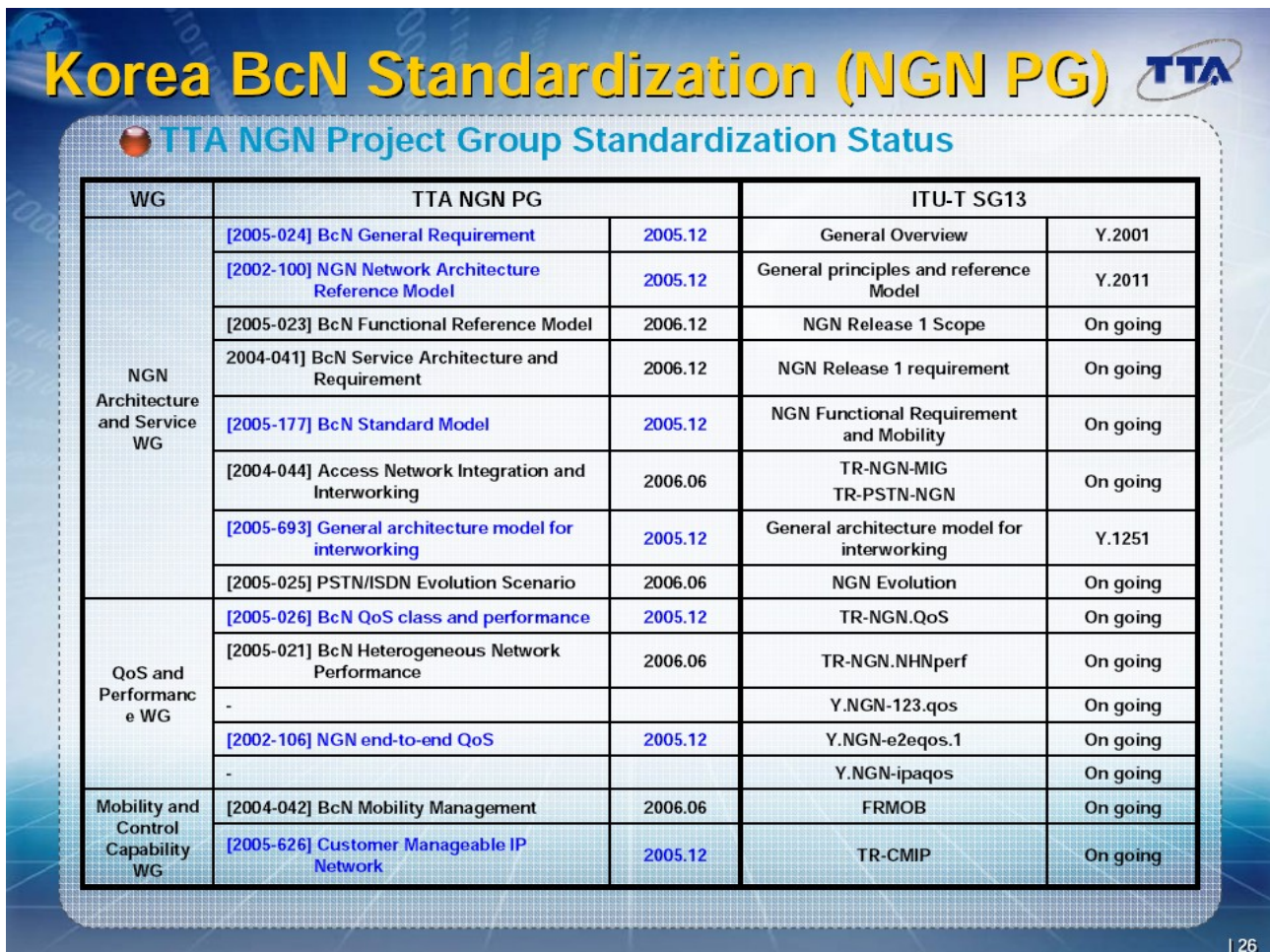
2.2.3 TTA (Telecommunications Technology Association)

Es una organización que desarrolla estándares de telecomunicaciones y que coopera con la ITU-T proponiendo estándares. Opera en Korea del Sur.

Está reconocida por la ITU como organización de estandarización.

En la Figura 3 se refleja el estado de estandarización entre la TTA y la ITU, en cuanto a NGN. Además la TTA se apoya en los estándares definidos por la ITU.

Desafortunadamente las recomendaciones publicadas por este organismo no están libremente accesibles. Aunque parecen estar más avanzados que la ITU en la normalización de NGN.



The figure is a presentation slide titled "Korea BcN Standardization (NGN PG)" with the TTA logo. Below the title is a sub-header "TTA NGN Project Group Standardization Status". The main content is a table comparing TTA and ITU-T standards across three workgroups: NGN Architecture and Service WG, QoS and Performance WG, and Mobility and Control Capability WG. The table lists specific standards, their dates, and their corresponding ITU-T counterparts.

WG	TTA NGN PG		ITU-T SG13	
NGN Architecture and Service WG	[2005-024] BcN General Requirement	2005.12	General Overview	Y.2001
	[2002-100] NGN Network Architecture Reference Model	2005.12	General principles and reference Model	Y.2011
	[2005-023] BcN Functional Reference Model	2006.12	NGN Release 1 Scope	On going
	[2004-041] BcN Service Architecture and Requirement	2006.12	NGN Release 1 requirement	On going
	[2005-177] BcN Standard Model	2005.12	NGN Functional Requirement and Mobility	On going
	[2004-044] Access Network Integration and Interworking	2006.06	TR-NGN-MIG TR-PSTN-NGN	On going
	[2005-693] General architecture model for interworking	2005.12	General architecture model for interworking	Y.1251
	[2005-025] PSTN/ISDN Evolution Scenario	2006.06	NGN Evolution	On going
QoS and Performance WG	[2005-026] BcN QoS class and performance	2005.12	TR-NGN.QoS	On going
	[2005-021] BcN Heterogeneous Network Performance	2006.06	TR-NGN.NHNperf	On going
	-		Y.NGN-123.qos	On going
	[2002-106] NGN end-to-end QoS	2005.12	Y.NGN-e2eqos.1	On going
	-		Y.NGN-ipaqos	On going
Mobility and Control Capability WG	[2004-042] BcN Mobility Management	2006.06	FRMOB	On going
	[2005-626] Customer Manageable IP Network	2005.12	TR-CMIP	On going

Figura 3: Relación de estándares entre TTA e ITU

3 Recomendaciones referentes a pruebas sobre redes de paquetes.

En este apartado se pretende dar una visión general del trabajo de los distintos organismos de estandarización a la hora de elaborar pruebas sobre redes de conmutación de paquetes y NGN. Se verá que existen muy diferentes tipos de pruebas, aunque no existe algo que se ajuste exactamente al objeto de este proyecto. Se indagará en las recomendaciones existentes para redes comunes ya desplegadas y se irá cerrando el camino hacia el tipo de pruebas a que está orientado este proyecto

3.1 ITU-T

A continuación se van a citar las recomendaciones ITU más relevantes para el desarrollo del presente proyecto. La forma de organizarlas es la misma que utiliza ITU.

3.1.1 Serie P:

Cuenta con recomendaciones para medir la calidad de audio y vídeo de una comunicación, tanto de forma objetiva como subjetiva. Todas estas recomendaciones se incluyen en la “serie P” (Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales) de sus recomendaciones. Algunos ejemplos son:

- **MEDICIÓN OBJETIVA DEL NIVEL VOCAL ACTIVO** (Recomendación UIT-T P.56): Emplea aparatos de medición de voltaje o presión y realizando un tratamiento de los datos obtenidos se obtiene un índice objetivo de la calidad de la voz.
- **MÉTODOS DE DETERMINACIÓN SUBJETIVA DE LA CALIDAD DE TRANSMISIÓN** (Recomendación UIT-T P.800)

- **RETARDO DE LAS COMUNICACIONES MULTIMEDIA, SINCRONIZACIÓN Y MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRAMAS (RECOMENDACIÓN UIT-T P.931):** Define entre qué puntos se realiza la medición (antes de la pantalla y después de la cámara, señales eléctricas digitales). Sería lo que debe implementar un software capaz de realizar estas medidas.

3.1.2 Serie G:

Otras recomendaciones dentro de la “serie G” definen pruebas de diafonía, ruido y calidad de la transmisión en comunicaciones DSL, telefonía convencional.

3.1.2.1 G.1000

(Calidad de servicio en las comunicaciones: marco y definiciones)

En esta recomendación se habla de los conceptos de calidad, QoS, calidad percibida por el usuario, etc.

Define una matriz para identificar los diferentes parámetros de QoS ofrecidos por una red de comunicaciones.

La Figura 4 muestra una tabla que puede ser utilizada en cualquier servicio de telecomunicación a fin de determinar los criterios de QoS necesarios, tras lo cual se pueden definir los parámetros y fijar los objetivos de calidad de funcionamiento.

		Criterios de calidad de servicio						
		Velocidad 1	Precisión 2	Disponibilidad 3	Fiabilidad 4	Seguridad 5	Simplicidad 6	Flexibilidad 7
Función de servicio								
GESTIÓN DE SERVICIO	Ventas y actividades precontractuales 1							
	Prestación 2							
	Alteración 3							
	Atención al cliente 4							
	Reparaciones 5							
	Cese 6							
CALIDAD DE LA CONEXIÓN	Establecimiento de conexión 7							
	Transferencia de información 8							
	Liberación de conexión 9							
Facturación 10								
Gestión de la red/ servicio por el cliente 11								

Figura 4: Matriz para facilitar la identificación de los parámetros de QoS en las comunicaciones (ITU G.1000)

En el caso que nos ocupa estaríamos interesados en la parte de “calidad de la conexión”.

Los parámetros de calidad de la conexión se pueden observar desde el **punto de vista del cliente**, que no necesita saber nada de la estructura interna de la red y lo único que desea es que se le presten los servicios de forma que quede satisfecho. O bien, desde el **punto de vista de la empresa** que ofrece los servicios de red, para la que será importante identificar parámetros concretos, dependientes de la estructura de la red, que le ayuden a mejorar sus servicios.

3.1.2.1 G.1010

(Categorías de calidad de servicio para los usuarios de extremo de servicios multimedia.)

En esta recomendación se habla de la calidad de servicio desde el punto de vista de los clientes, con lo que los parámetros que propone medir son totalmente independientes de la arquitectura de red.

Define parámetros de retardo y pérdida de paquetes, para distintos tipos de servicio, como: Conversaciones telefónicas, vídeo bajo demanda (con tasas bajas de transferencia), video conferencia, transmisión de datos, etc. Además proporciona unos umbrales mínimos para cada uno de estos parámetros como puede observarse en la Figura 5.

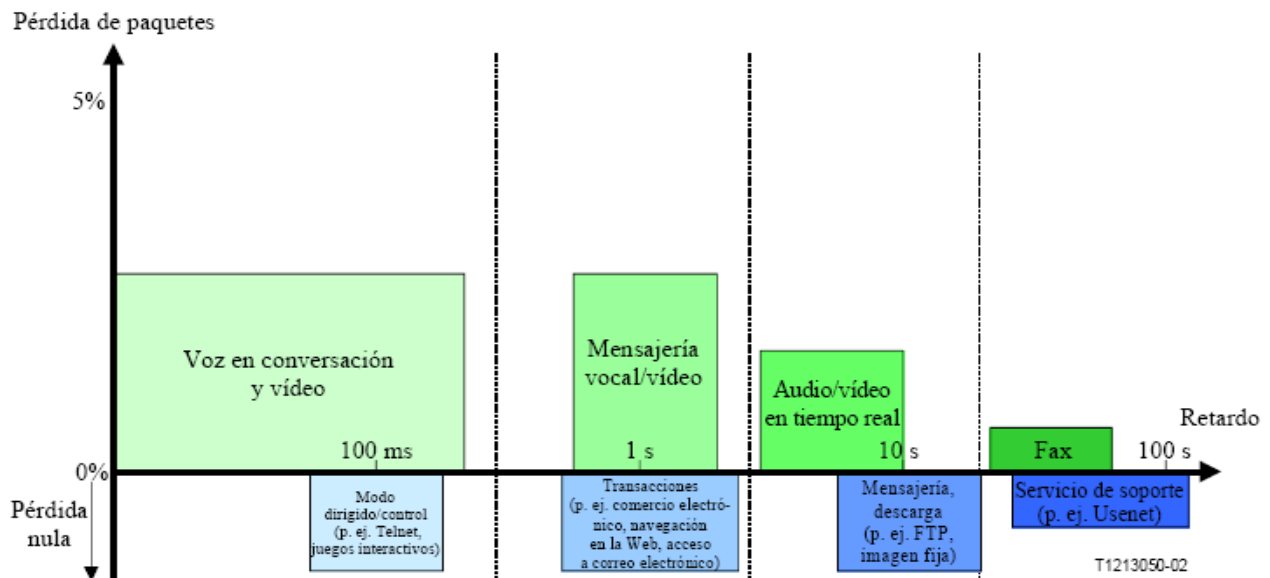


Figura 5: Correspondencia entre requisitos QoS de usuario y servicio (ITU G.1010)

3.1.2.2 G.107

(El modelo E, un modelo informático para utilización en planificación de la transmisión)

El modelo E [ITU-G.107], describe el algoritmo a implementar para obtener un determinado índice de calidad de la voz transmitida en una red, a partir de ciertos parámetros de red tales como retardo, pérdidas, jitter, etc. Al final se obtiene un índice de transmisión, R, a partir del cual mediante equivalencias se pueden obtener otros índices de calidad “subjetiva” como por ejemplo el MOS (Mean Opinion Score) [MOS] .

3.1.3 Serie I:

3.1.3.1 I.350

(Aspectos generales de calidad de servicio y de calidad de funcionamiento en las redes digitales incluidas las redes digitales de servicios integrados.)

En esta recomendación se tratan dos conceptos muy semejantes: calidad de servicio (QOS, Quality of Service) y calidad de funcionamiento de la red (NP, Network Performance). La QOS está orientada al cliente, mientras que la NP está más orientada al proveedor de red.

La **QOS** se define en la Recomendación E.800 como sigue:

«efecto global de las calidades de funcionamiento de un servicio que determinan el grado de satisfacción de un usuario al utilizar dicho servicio».

Son parámetros observables por el usuario y que debe poder comparar entre varios proveedores.

Los aspectos de calidad de servicio que se tratan en esta Recomendación se limitan a los parámetros que pueden observarse y medirse directamente en el punto en que el usuario accede al servicio, por tanto no dependen de la visión subjetiva del usuario o del tipo de terminal propiedad del usuario con que accede al servicio.

La definición de **NP** es la que sigue:

La calidad de funcionamiento de la red se mide en términos de parámetros significativos para el proveedor de la red, y que se utilizan con fines de diseño, configuración, explotación y mantenimiento del sistema. La NP se define independientemente del funcionamiento de los terminales y de la actuación de los usuarios.

Calidad de servicio (QOS)	Calidad de funcionamiento de la red (NP)
Orientada al usuario	Orientada al proveedor
Atributo de servicio	Atributo de elemento de conexión
Centrada en los efectos observados por el usuario	Centrada en la planificación, desarrollo (diseño), operaciones y mantenimiento.
Entre (o en) puntos de acceso al servicio	Capacidades de extremo a extremo o de los elementos de conexión de la red

Figura 6: Distribución entre la calidad de servicio y la calidad de funcionamiento de la red (ITU I.350)

La definición de los parámetros de NP debe basarse claramente en los eventos y estados observados en las fronteras de los elementos de conexión, por ejemplo, las señales de interfaz específicas de un protocolo;

Los parámetros de calidad de servicio y de funcionamiento de red están muy relacionados entre sí. Por ejemplo una mejora en los parámetros de calidad de funcionamiento implicará una mejora en la calidad de servicio.

En esta recomendación se hace la distinción entre parámetros primarios y secundarios. Los parámetros primarios son aquellos directamente medibles en las fronteras que se definan y pueden ser tanto parámetros de calidad de servicio como de funcionamiento de red. A partir de estos parámetros primarios pueden obtenerse otros secundarios.

Parámetros genéricos de calidad de funcionamiento

A continuación se enumeran nueve parámetros primarios genéricos de calidad de funcionamiento, establecidos con arreglo al planteamiento matricial descrito en el anexo A de ITU-T I.350. Esos parámetros pueden utilizarse para establecer parámetros de QOS y NP especificados:

- Velocidad de acceso;
- Precisión de acceso;
- Seguridad de acceso;
- Velocidad de transferencia de información;
- Precisión de transferencia de información;

- Seguridad de transferencia de información;
- Velocidad de desvinculación;
- Precisión de desvinculación;
- Seguridad de desvinculación.

En el anexo A de la recomendación define los conceptos de acceso, transferencia de información y desvinculación.

En el anexo B ofrece varios ejemplos de matrices para identificar parámetros de medida, orientado a RDSI. Como puede observarse en la Figura 7

Parámetros genéricos		Parámetros de QoS de servicios portadores														
		Parámetros primarios de calidad de funcionamiento												Parámetros derivados de calidad de funcionamiento		
		Retardo de acceso	Probabilidad de acceso incorrecto	Probabilidad de denegación de acceso	Retardo de transferencia de información de usuario	Velocidad de transferencia de información de usuario	Probabilidad de error de información de usuario	Probabilidad de entrega de información adicional de usuario	Probabilidad de entrega indebida de información de usuario	Probabilidad de pérdida de información de usuario	Retardo de desvinculación	Probabilidad de desvinculación incorrecta	Probabilidad de denegación de desvinculación	Disponibilidad del servicio	Probabilidad de denegación de transferencia de información de usuario	Duración de la interrupción del servicio
Primarios	Velocidad de acceso	X														
	Precisión de acceso		X													
	Seguridad de acceso			X												
	Velocidad de transferencia de información				X	X										
	Precisión de transferencia de información						X	X	X							
	Seguridad de transferencia de información									X						
	Velocidad de desvinculación										X					
	Precisión de desvinculación											X				
	Seguridad de desvinculación												X			
Derivados	Disponibilidad													X	X	X

Figura 7: Relación cualitativa entre los parámetros genéricos de calidad de funcionamiento y posibles parámetros de QoS de servicios portadores (ITU I.350)

3.1.4 Serie Y:

3.1.4.1 Y.1540

(Servicio de comunicación de datos con protocolo internet - parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes del protocolo internet.)

Esta recomendación es mucho más concreta, habla de la arquitectura de una red IP, su organización, los puntos en los que deben tomarse las medidas, etc. Es muy extensa y hace referencia a otras recomendaciones.

3.1.4.1 Y.1541

(Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo de Internet.)

Esta recomendación habla sobre los diferentes parámetros de red a tener en cuenta para una determinada QoS.

Establece que los intervalos de tiempo sobre los que se observe los distintos parámetros de red sea de al menos un minuto.

Para testear parámetros de telefonía recomienda intervalos mínimos de 10 a 20 segundos con flujos de entre 50 y 100 paquetes por segundo.

Establece excepciones y las condiciones que han de darse en una red para que las medidas de los parámetros cumplan los valores correspondientes a las distintas calidades de servicio. Así, en transmisiones de muy larga distancia con altos retardos de transmisión, es imposible que se cumpla que IPTD sea inferior a un determinado valor, en estos casos la recomendación propone fijar un nuevo límite para este parámetros.

Contiene apéndices donde ofrece ejemplos de redes y los valores de los parámetros para dichos ejemplos. Además habla de la calidad de voz sobre IP, haciendo referencia a otras recomendaciones (Modelo E y otras muchas) para estimar su calidad boca-oído. También ofrece algunos ejemplos sobre calidad de vídeo y transferencia de datos con TCP.

3.1.5 Serie M:

3.1.5.1 M.2301

(Objetivos de rendimiento y procedimientos para establecer y mantener redes basadas en el protocolo Internet.)

En esta Recomendación se presentan los objetivos de rendimiento y los procedimientos para establecer y mantener redes basadas en el Protocolo Internet (IP), pertenecientes a distintos operadores. No se tiene en cuenta la tecnología de transporte que soporta la red IP ni las capas superiores que se implementan mediante IP. Los objetivos son: funcionamiento con error, funcionamiento con retardo y disponibilidad.

En esta Recomendación se ofrecen también, en apéndice, orientaciones sobre los objetivos y los límites de rendimiento para los diferentes recursos de red IP (por ejemplo, encaminadores, subredes, etc.)

Define medidas de tipo intrusivas, inyectando tráfico en la red, y no intrusivas (Figura 8), observando las estadísticas de tráfico en los nodos de la red. Con el objetivo de medir los siguientes parámetros de red:

- IPDR Tasa de descarte de paquetes IP (IP packet discard rate)
- IPDV Variación del retardo de paquetes IP (IP packet delay variation)
- IPER Tasa de errores en los paquetes IP (IP packet error ratio)
- IPLR Tasa de pérdida de paquetes IP (IP packet loss ratio)
- IPOD Dominio de operador IP (IP operator domain)
- IPTD Retardo de transferencia de paquetes IP (IP packet transfer delay)

Ofrece unas tablas como la que se puede ver en la Figura 9, con valores de referencia para cada uno de estos parámetros según la QoS sobre la que se estén realizando las medidas.

Parámetro	Intrusiva	No intrusiva
IPTD	✓	
IPDV	✓	
IPER	✓	✓
IPLR	✓	✓
IPDR		✓

Figura 8: Medición intrusiva y no intrusiva de los parámetros de rendimiento (ITU M.2301)

Parámetro Clase QoS	IPTD	IPDV	IPLR	IPER	IPDR
Clase 0	100 ms	50 ms	5×10^{-4} (nota 1)	5×10^{-5}	5×10^{-4}
Clase 1	400 ms	50 ms	5×10^{-4} (nota 1)	5×10^{-5}	5×10^{-4}
Clase 2	100 ms	U	5×10^{-4}	5×10^{-5}	5×10^{-4}
Clase 3	400 ms	U	5×10^{-4}	5×10^{-5}	5×10^{-4}
Clase 4	1 s	U	5×10^{-4}	5×10^{-5}	5×10^{-4}
Clase 5	U	U	U	U	U
<p>NOTA 1 – Algunas aplicaciones (por ejemplo, MPEG-2) pueden necesitar $IPLR < 5 \times 10^{-5}$.</p> <p>NOTA 2 – "U" significa "no especificado" o "no acotado". Cuando el rendimiento relativo a un parámetro particular se clasifica por "U", la UIT-T no establece ningún objetivo para este parámetro y no se tienen en cuenta los objetivos por defecto de Rec. UIT-T Y.1541 [5]. Cuando el objetivo de un parámetro se fija a "U", el rendimiento con respecto a ese parámetro puede, algunas veces, ser arbitrariamente mediocre.</p>					

Figura 9: Definiciones de clase QoS para IP y objetivos de rendimiento de red para un flujo IP extremo a extremo

3.2 ATIS

ATIS (Alliance for Telecommunications Industry Solutions) [ATIS] está acreditada por el ANSI (American National Standards Institute). ANSI se encarga de aprobar estándares nacionales para América.

ATIS desarrolla y difunde estándares relacionados con las comunicaciones y las tecnologías de la información, tratando de atender las demandas de la industria del sector.

Sus documentos se obtienen pagando. Algunos, relacionados con pruebas de rendimiento de redes de comunicaciones, son los siguientes:

- T1.503-1996 -- Network Performance Parameters for Dedicated Digital Services-Definitions and Measurements
- T1.507-1996 -- Network Performance Parameters for Circuit-Switched Digital Services-Definitions and Measurements
- T1.801.03-2003 -- Digital Transport of One-Way Video Signals - Parameters for Objective Performance Assessment (Revision of T1.801.03-1996): Describe un método para medir cómo se ve afectada la calidad de vídeo al ser transmitido por una red de comunicaciones.

3.3 Colaboración entre ITU y ATIS


La ITU y ATIS están trabajando en la definición de pruebas de test sobre NGN, tienen algunos documentos publicados como borradores pero sólo se puede acceder a ellos registrándose.

Son pruebas orientadas, sobre todo, a interoperabilidad con otras redes y a conformidad respecto a las definiciones de los protocolos, no a rendimiento.

En la Figura 10 se recoge una tabla del documento [DADT] donde pueden apreciarse las diferentes áreas de trabajo.

Set of new NGN technical means testing Recommendations

- Q.tt1** Methods of testing and model network architecture for NGN technical means testing as applied to public telecommunication networks
- Q.tt3** Integral testing. Tests and services' distribution for NGN technical means testing in the model and operator networks
- Q.tt4** Parameters to be monitored in the process of operation when introducing NGN in PSTN
- Q.tt5** Formalized presentation of testing results
- Q.tt6** Handbook on NGN technical means testing as applied to NGN technologies to be introduced on PSTN networks

 **ITU-T**

ITU-T / ATIS Workshop "Next Generation Technology and Standardization"
Las Vegas, 19-20 March 2006



ATIS
Alliance for Telecommunications Industry Solutions

Figura 10: Áreas de colaboración ATIS ITU

3.4 Normas ISO/IEC

Las **normas ISO/IEC de la serie 9646** [Ref JTC1] definen metodologías de pruebas de “Conformance” (pruebas para determinar la validez de la implementación de un determinado protocolo) para redes con estructura OSI. Sólo son accesibles para miembros ISO.

Estas normas son publicadas por el subcomité JTC1 (Joint Technical Committee 1), que está asociado a la ISO (International Organization for Standardization) y al IEC (International Electrotechnical Commission), y se encarga de la estandarización de las tecnologías de la información.

3.5 IETF

RFC (Requests For Comments) son una serie de documentos en los que se describen distintos protocolos de internet o notas sobre distintos aspectos de internet. Cualquiera puede proponer una RFC pero es el IETF (*Internet Engineering Task Force*) quien da la aprobación final.

Las siguientes recomendaciones están relacionadas con medidas de rendimiento en redes IP:

- [RFC 2330](#) - "Framework for IP Performance Metrics"

Trata diferentes aspectos a tener en cuenta a la hora de tomar medidas de rendimiento en una red IP. Qué tipo de parámetros es interesante observar, forma de tomar las medidas, etc. Está orientado sobre todo a medidas sobre redes ya desplegadas y más concretamente redes IP.

- [RFC 3432](#) - “Network performance measurement with periodic streams”

Propone una serie de medidas de parámetros de rendimiento de red, en redes IP, tomadas en intervalos periódicos y describe como llevarlas a cabo

3.6 ETSI

En el documento [ETSI-TS.185] elaborado por TISPAN se habla de la QoS en NGN, establece relaciones entre las QoS definida por el ITU y el 3GPP. Muestra tablas con valores de referencia de los parámetros a medir para cada QoS. Habla también de compatibilidad entre redes y codecs de audio, además de los requisitos de QoS y señalización que debe implementar la red. Está muy relacionado con la recomendación ITU M.2301

TISPAN, además, tiene publicados numerosos documentos donde define una serie de tests de conformidad de los distintos protocolos de red. Describe una serie de pruebas exhaustivas para demostrar la validez de un determinado protocolo o la compatibilidad con otra tecnología. Estos y otros documentos referentes a NGN son accesibles a través de [DRAFTS]

3.6.1 Plugtests

Es un departamento dentro del ETSI que se encarga de definir y realizar tests sobre diferentes tecnologías y contactar con las empresas que deciden participar en dichos tests.

Tienen publicados algunos resultados, en los que comparan equipos de diferentes compañías. Lo más similar al objeto de estudio de este proyecto son pruebas de Triple-play sobre XDSL, donde se testea calidad de vídeo, voz y datos. Definen varios escenarios de prueba y ofrecen un umbral mínimo de cada uno de los parámetros a medir. Ofrecen gráficas con los resultados, pero no dan los datos concretos de las empresas que se prestan al estudio.

4 Pruebas de rendimiento y calidad de servicio sobre NGN.

En este capítulo, a partir de la información recogida en los capítulos anteriores, se va a definir una serie de pruebas de rendimiento sobre NGN, se van a fijar unos parámetros objetivo de esas pruebas y se van a definir unos valores mínimos para los mismos.

Primeramente, en base a los capítulos anteriores se clasificarán el tipo de pruebas existentes para un red, y una vez claro el concepto de pruebas de rendimiento, se pasará a su definición.

4.1 Introducción

Con toda la información recogida en los capítulos anteriores, podemos clasificar las pruebas a realizar sobre una NGN de la siguiente manera:

- Tests para comprobar la validez de implementación de un protocolo acorde a cierta recomendación: “**Conformance**” o “**Compliance**”
- Tests de **compatibilidad** con tecnologías existentes y con otras implementaciones. En este ámbito pueden definirse pruebas de interoperabilidad y pruebas en el interior de una red homogénea.
- Tests para comprobar el rendimiento de una red. Normalmente se definen unos puntos estratégicos de la red donde definir los diferentes parámetros a medir. También los tests son específicos para cada protocolo implicado. “**Performance**” o **rendimiento**.
- Tests de **seguridad**.
- Tests que miden la **calidad percibida por el usuario**. Por ejemplo en un servicio de video que la imagen sea clara y nítida, también incluye aspectos referentes al proveedor como rapidez ante incidencias, atención al cliente, etc. A menudo se le llama a esta QOS.

El objetivo de este proyecto se centra en los tests de **rendimiento** y de **calidad percibida por el usuario**. Ambos están muy relacionados, ya que, normalmente, una mejora en

los parámetros de rendimiento implica una mejora en la calidad percibida por el usuario final.

Los **tests de rendimiento** que se proponen están orientados extremo a extremo, con la intención de hacerlos lo más genéricos posible. Las recomendaciones sobre este tipo de tests son específicas para cada tecnología y cada tramo de red. Al realizarlas extremo a extremo y con la tendencia actual hacia “All-IP” se gana en generalidad.

En este trabajo se van a aunar criterios tanto de redes móviles como fijas, con la intención de realizar pruebas que permitan garantizar una cierta calidad en **servicios multimedia**, que son los que más restricciones imponen sobre las características de la red, al ser servicios muy sensibles a retardos, pérdida de paquetes, jitter, etc.

Finalmente, los **tests de calidad percibida por el usuario final**, son tests específicos para cada uno de los servicios que se desee ofrecer. En este caso se han considerado dos servicios básicos para una NGN: voz y vídeo.

La calidad percibida por el usuario final depende fuertemente de cómo se implemente la red y cómo se negocien con el proveedor los diferentes servicios. Ya que, la opinión de los usuarios, estará condicionada por aspectos como el precio del servicio, la disponibilidad de la red, la atención al cliente, etc. Pero no es ese el objeto del presente proyecto, donde lo que se pretende evaluar es la calidad con la que llegan flujos de audio o vídeo entre usuarios finales, en una red “libre”. Es decir, cómo afecta a los flujos de audio y vídeo el ser transmitidos por una NGN.

Para las pruebas de rendimiento se medirá una serie de parámetros propios de una red de conmutación de paquetes (que es uno de los puntos que define las NGN) y que afectan fuertemente a la calidad de flujos multimedia. Estos parámetros son: Jitter, pérdida de paquetes y RTT (Round Trip Time, retardo de ida y vuelta de un paquete).

Para los parámetros de calidad percibida por un usuario final se analizará cómo afecta la transmisión a través de una NGN a los flujos de audio y voz.

Las NGN permiten clasificar el tráfico de red en diferentes prioridades, por tanto es necesario realizar los tests de forma que quede demostrado que las diferentes prioridades cumplen los parámetros especificados por el proveedor de red.

4.2 Parámetros de red

En este apartado se definen pruebas que incluyen solamente al estrato **de transporte** de una NGN. Se trata de demostrar que la red cumple una serie de especificaciones a las que los proveedores de servicios puedan atenerse.

Las medidas que se propone realizar están orientadas a verificar una calidad de servicio extremo a extremo razonable, para la provisión de servicios multimedia. Se asume que son estos los que más recursos y restricciones necesitan y, por tanto, si funcionan correctamente, también lo harán otros servicios menos restrictivos, como: transferencia de ficheros, navegación por internet, correo, etc.

Las pruebas se centran sobre todo en demostrar que se cumplen los distintos parámetros de red para cada una de las calidades o prioridades de servicio. Ya que la diferenciación de flujos de tráfico con distintas prioridades es uno de los puntos importantes dentro de la definición de NGN

Lo primero es identificar los parámetros que definen una determinada prioridad de servicio, para ello se utilizarán dos recomendaciones ampliamente difundidas y conocidas, una de la ITU y otra del ETSI. También se empleará la recomendación **ETSI TS 185 001 V1.1.1 (2005-11)**, **[ETSI-TS.185]** , para identificar las equivalencias entre cada una de las recomendaciones.

La Tabla 1 muestra las equivalencias.

3GPP UMTS QoS Class (and Relevant Attribute Values)		Real Time		Best Effort	
		Conversational	Streaming	Interactive	Background
Y.1541 QoS Class (and Relevant Parameter Values)		<ul style="list-style-type: none"> - Preserve time relation (variation) between info entities of the stream - Conversational pattern (stringent and low delay) 	<ul style="list-style-type: none"> - Preserve time relation (variation) between info entities of the stream 	<ul style="list-style-type: none"> - Request/response pattern - Preserve payload content 	<ul style="list-style-type: none"> - Destination is not expecting data within a certain time - Preserve payload content
		<ul style="list-style-type: none"> - Transfer delay: 100 ms (maximum value) - SDU error ratio (ER): 10^{-2}, 7×10^{-3}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} 	<ul style="list-style-type: none"> - Transfer delay: 300 ms (maximum value) - SDU error ratio (ER): 10^{-1}, 10^{-2}, 7×10^{-3}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5} 	<ul style="list-style-type: none"> - Transfer delay: "traffic handling priority" - SDU error ratio (ER): 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-6} 	<ul style="list-style-type: none"> - SDU error ratio (ER): 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-6}
Class 0	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD \leq 100 ms - IPDV \leq 50 ms - IPLR \leq 10^{-3} - IPER \leq 10^{-4} 	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD is a mean value; transfer delay is a maximum - Y.1541 specifies IPDV limit - Y.1541 specifies IPLR/IPER; - TS 123 107 [6] specifies SDU ER 			
Class 1	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD $<$ 400 ms - IPDV $<$ 50 ms - IPLR $<$ 10^{-3} - IPER $<$ 10^{-4} 		<ul style="list-style-type: none"> - IPTD is a mean value; transfer delay is a maximum - Y.1541 specifies IPDV limit - Y.1541 specifies IPLR/IPER; - TS 123 107 [6] specifies SDU ER 		
Class 2	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD $<$ 100 ms - IPLR $<$ 10^{-3} - IPER $<$ 10^{-4} 			<ul style="list-style-type: none"> - Y.1541 specifies IPTD limits; TS 123 107 [6] specifies "traffic handling priority" - Y.1541 specifies IPLR/IPER; - TS 123 107 [6] specifies SDU ER "target" 	
Class 3	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD \leq 400 ms - IPLR \leq 10^{-3} - IPER $<$ 10^{-4} 				
Class 4	<ul style="list-style-type: none"> - IPTD \leq 1 second - IPLR $<$ 10^{-3} - IPER $<$ 10^{-4} 				
Class 5	Best Effort				<ul style="list-style-type: none"> - TS 123 107 [6] specifies SDU ER "target"

Tabla 1: Relación entre ITU-T (Y.1541) y 3GPP (TS 123 107) UMTS clases de QoS, parámetros y atributos de portador.

4.2.1 Medidas propuestas por ITU

- **IPDR Tasa de descarte de paquetes IP (IP packet discard rate):** Sólo se puede observar en los routers, que son los que descartan paquetes.

No se va a tener en cuenta en este proyecto, ya que el estudio se va a centrar en los parámetros finales percibidos en el punto de conexión del usuario. La idea es que las pruebas sean lo más genéricas posibles y no dependan de la estructura de la red. Además este parámetro no tiene equivalente dentro del ETSI.

Sólo añadir, que el ITU propone una medida de este parámetro no intrusiva y por tanto su seguimiento es recomendable realizarlo en redes ya desplegadas, con la finalidad de realizar posibles redimensionamientos de la red.

- **IPDV Variación del retardo de paquetes IP (IP packet delay variation) o Jitter:** El primer problema que se presenta aquí, es la existencia de diferentes interpretaciones del

IPDV: Una propuesta por el ITU y otra que figura en la RFC 3393, que es la que utiliza el protocolo RTP. Ambas son muy parecidas pero no iguales.

Jitter según ITU (Y.1540): Máximo retardo de transferencia – Mínimo retardo de transferencia. O también puede utilizarse el percentil 99 del total de medidas.

Jitter según RFC 3393: $(\text{tiempo tx} - \text{tiempo rx})_i - (\text{tiempo tx} - \text{tiempo rx})_{i+1}$

La ITU en su recomendación Y.1540 (Apéndice II, sección II.3) [ITU-Y.1540] indica que puede utilizarse el método descrito en la RFC 3393 [RFC3393], pero advierte que esa medida es menos precisa, ya que no es tan sensible a posibles cambios de rutas en un determinado instante.

En este proyecto se va a utilizar la definición del Jitter según RFC 3393, porque es más sencilla de obtener y porque no son comunes los cambios de rutas en flujos continuos. Aunque es necesario tener este posible efecto en cuenta, en los distintos escenarios de prueba.

Además, al estar las NGN orientadas a la provisión de servicios multimedia y ser RTP uno de los protocolos recomendados para el transporte de dichos servicios, resulta más apropiada una medida del jitter acorde a la RFC de RTP.

En el caso de que el IPDV se mida inyectando tráfico en la red, ITU recomienda utilizar siempre el mismo tamaño de paquete, ya que tamaños distintos llevan asociados variaciones del retardo distintas. Recomienda informar del tamaño utilizado, ya que la idea de estos parámetros es que se puedan comparar con los obtenidos sobre otros puntos de red, o sobre otras redes, y por tanto es necesario especificar el tamaño de paquete con que se ha realizado la medida de IPDV, al estar ligada al tamaño del mismo.

- **IPER Tasa de errores en los paquetes IP (IP packet error ratio):** No se va a observar, se asume que si el paquete llega a su destino no contiene errores (al menos no en la cabecera) o que la probabilidad de error es muy baja.

Aún así, como más adelante se realizarán pruebas de calidad de vídeo y audio, si existiese alguna anomalía en este parámetro quedaría registrada en dichas pruebas con una degradación del audio o el vídeo.

Además la tasa de errores en el paquete está fuertemente relacionada con la BER, que depende del nivel de enlace. Por tanto la tasa de errores en los paquetes será siempre menor que la BER garantizada por el nivel de enlace, ya que los paquetes perdidos no entran en el cómputo. En tecnologías Ethernet la BER está entorno a 10^{-10} .

Sí, puede resultar más relevante este parámetro con otras tecnologías de enlace donde la BER pueda ser mayor, como ocurre en los entornos radio.

- **IPLR Tasa de pérdida de paquetes IP (IP packet loss ratio):** Este parámetro sí que es importante, ya que los paquetes no sólo se pueden perder por errores en los mismos, sino también por descartes dentro de la red y saturación de los equipos.

- **IPTD Retardo de transferencia de paquetes IP (IP packet transfer delay):** Debido a lo complicado que resulta realizar esta medida, al necesitar dos equipos sincronizados, se realizarán únicamente medidas del tiempo de vuelo (**RTT, Round Trip Time**) y se asumirá simetría en el trayecto de ida y vuelta.

Medir el retardo en un único sentido es una medida extremadamente compleja para la relevancia que dicha medida tiene en este proyecto.

4.2.2 Parámetros ETSI

- **Transfer delay:** Es un valor máximo, mientras que IPTD es un retardo medio.
- **SDU error ratio:** Indica el porcentaje de SDU's perdidas o erróneas. SDU es la unidad de datos en UMTS y no tiene porqué coincidir con la MTU de IP. Es un parámetro que se negocia en el establecimiento de sesión. Este parámetro por tanto no entra en los objetivos de análisis del proyecto, puesto que la red de acceso sobre la que se realizarán las pruebas no está basada en UMTS y por tanto el estudio de paquetes erróneos se hará con IPER e IPLR.

Puesto que la recomendación del ETSI está orientada sobre todo a entornos UMTS, se observarán únicamente los parámetros propuestos por el ITU referentes a cada calidad de servicio. Ya que el entorno de pruebas del proyecto es una red IP cableada.

Hay que tener en cuenta que los parámetros del ITU pueden ser trasladados a una red UMTS según la Tabla 1, pero en ese caso sería mejor aplicar los parámetros ETSI, debido a que en los entornos radio, ciertos parámetros como la tasa de error, pueden resultar más restrictivos.

Atendiendo a la Tabla 1 identificaremos cuatro calidades de servicio (que son las que están implementadas en el escenario de pruebas), aunque podrían ser hasta seis atendiendo a la clasificación ITU:

- Real Time (conversational): Denominada **Low Latency** en el escenario de pruebas, es la de máxima prioridad.
- Real Time(streaming): **Real Time** en el escenario de pruebas, la siguiente en prioridad.
- Best Effort (interactive): **Elastic** en el escenario de pruebas, la siguiente en prioridad a Real Time.
- Best Effort(Background): **Best Effort** en el escenario de prueba, la demínima prioridad.

En Tabla 2 se muestra una simplificación de Tabla 1 para cuatro prioridades de servicio, orientada a redes cableadas IP.

	Low Latency (máxima prioridad)	Real Time	Elastic	Best Effort (mínima prioridad)
IPTD	$\leq 100\text{ms}$	$\leq 400\text{ms}$	$\leq 100\text{ms}$	-
IPDV	$\leq 50\text{ms}$	$\leq 50\text{ms}$	-	-
IPLR	$\leq 1*10^{-3}$	$\leq 1*10^{-3}$	$\leq 1*10^{-3}$	-
IPER	$\leq 1*10^{-4}$	$\leq 1*10^{-4}$	$\leq 1*10^{-4}$	-

Tabla 2: Requisitos de parámetros de red según la prioridad del servicio (4 prioridades)

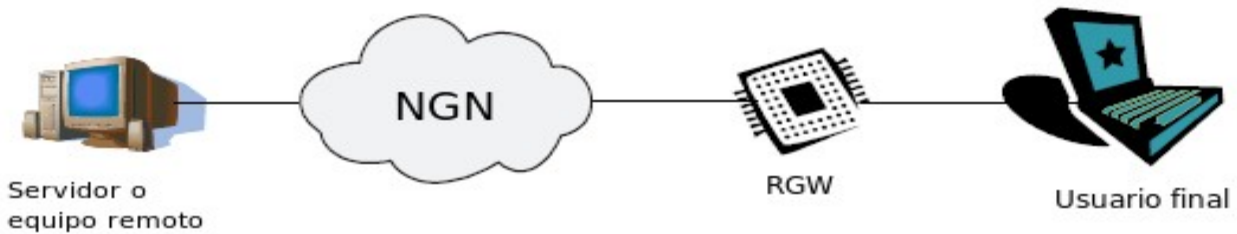


Figura 11: Estructura general de escenario de pruebas

En Figura 11 se puede observar una estructura de red genérica hacia la que están orientadas las pruebas, red cableada IP. El RGW implementa toda la funcionalidad de NGN (prioridad de servicio, control de admisión, NAT, etc.) y es el que da acceso a la red a los usuarios finales.

4.2.3 Notas sobre la forma de realizar las pruebas.

En la recomendación Y.1541 del ITU [ITU-Y.1541] se realiza la siguiente anotación:

“Se sugiere un intervalo de evaluación de un minuto para IPTD, IPDV e IPLR, y en todos los casos se debe registrar el intervalo con el valor observado. Cualquier minuto observado debe cumplir esos objetivos.”

Otra de las sugerencias que hace es realizar medidas de parámetros para diferentes tamaños de paquetes de red (entre 160 bytes y 1500 bytes), excepto para IPDV.

Todas estas medidas propuestas por el ITU y los valores que propone para las

distintas calidades de servicio son valores máximos sobre el valor medio tomado en intervalos de 1 minuto.

Los parámetros definidos por 3GPP son para tasas de transmisión inferiores a 16Mbits/s. Que es una tasa baja para redes cableadas pero capaz de soportar cualquier flujo multimedia, ya que la transferencia de vídeos de alta calidad requiere un ancho de banda semejante a ese.

4.2.4 Ancho de banda (BW)

Esta es una medida para determinar la capacidad de la red. Es un parámetro que interesa sobre todo al proveedor, ya que tiene que garantizar a sus clientes un ancho de banda donde se cumplirán el resto de parámetros de red (Jitter, pérdida de paquetes, RTT).

Sería recomendable medir el BW en Mbits/s (o Gbits/s, Kbits/s, etc. lo que mejor se ajuste a la capacidad de la red), ya que esta medida no induce a confusión, como se indica en la RFC 2330. Si se emplease el BW como BW de datos de un determinado protocolo de transporte, como por ejemplo TCP o UDP, debe ser indicado en los informes, ya que los tamaños de cabecera son distintos para cada uno de los protocolos y el BW de datos también lo será.

Esta medida es una característica de la red y es independiente de la prioridad con que se envíen los flujos de datos.

Se proponen dos métodos para realizar esta medida:

- **Conexión TCP:** Se realiza una conexión TCP entre dos puntos de la red donde se desea conocer el BW y se envía tráfico a la máxima capacidad. TCP es un protocolo de transmisión que recupera paquetes perdidos pidiendo retransmisión, además implementa algoritmos que reducen la tasa de transmisión cuando se detectan pérdidas y también aumenta la tasa de transmisión progresivamente si no se detectan pérdidas. Debido a estos mecanismos de autorregulación de TCP, podría obtenerse una medida que infravalore la capacidad de la red, pero es recomendable conocer la máxima capacidad de transferencia TCP ya que este es el protocolo utilizado cuando se realizan transmisiones que no admiten pérdidas, como por ejemplo transferencia de ficheros.

La tasa de tráfico en recepción será el máximo BW de la red para TCP.

- **Conexión UDP:** Se establece una conexión UDP entre los dos puntos de la red donde se desea medir el BW y se envía tráfico por encima de la capacidad de la red. La tasa en el receptor será el BW máximo de la red. UDP no recupera los paquetes perdidos, y por

tanto es el protocolo utilizado en difusión de video y audio en tiempo real, donde la pérdida de algún paquete no implica una degradación significativa de la transmisión.

Se recomienda utilizar varios tamaños de paquete (200bytes, 800bytes, 1400bytes), para ver si el BW se ve afectado. Los flujos multimedia utilizan diferentes tamaños de paquete según la aplicación (por ejemplo: aproximadamente 200 bytes para audio y 1500 bytes para video)

Una vez determinado el BW máximo, se puede determinar si cumple las especificaciones del proveedor. O en el caso de que sea el proveedor quien realiza las pruebas, puede establecer el BW que va a garantizar a sus clientes en la máxima capacidad o por debajo de esta para establecer un margen de seguridad.

4.2.5 Jitter (IPDV) y pérdida de paquetes (IPLR)

Estas medidas se toman de forma conjunta, ya que cualquier aplicación que tome medidas de jitter se va a percatar de los paquetes perdidos, ya que el jitter es la variación del retardo en paquetes consecutivos. En el caso que nos ocupa y con el software utilizado (Iperf) se obtienen las medidas de jitter e IPLR a la vez.

Para el Jitter, es necesario realizar la medida, al menos, para un tamaño de paquete (según ITU-T Y.1541[ITU-Y.1541]). Es preferible utilizar el mayor tamaño posible puesto que, en general, son los que muestran mayor retardo, y los que utilizan las aplicaciones multimedia que requieren grandes anchos de banda.

Las medidas de Jitter, pérdida de paquetes y RTT, se realizan para cada una de las prioridades de tráfico, con flujos de prioridades distintas, del mismo ancho de banda y que ocupen todo el ancho de banda de la red. De forma que quede demostrado que han sido implementadas todas las prioridades de servicio y que dichas prioridades cumplen los parámetros especificados, siempre que no se supere el ancho de banda garantizado.

Puesto que NGN se define como una tecnología de banda ancha y 3GPP define los valores de los parámetros de red para anchos de banda menores a 16Mbits/s, sería recomendable que cada flujo fuese como mínimo de esa tasa (16Mbits/s), ya que también es una tasa máxima razonable para los flujos multimedia que requieren mayor ancho de banda, como sería la transmisión de vídeo en alta definición. En este proyecto se propone utilizar flujos de 20Mbits/s, para redes cableadas y suponiendo que se trabaja con tecnologías de acceso por encima de 100Mbits/s

Las medidas de Jitter y Pérdida de paquetes se toman con UDP, porque es el protocolo más utilizado en transmisiones multimedia y porque es capaz de mantener una tasa de envío de datos constante aunque se pierdan paquetes.

Para el caso de cuatro prioridades es suficiente con mantener tres flujos de las tres primeras prioridades, ya que la última prioridad (Best Effort) no tiene ningún tipo de restricción.

Puesto que medir la tasa de pérdidas y el jitter se puede realizar simultáneamente, se tomarán medidas de Jitter y pérdida de paquetes para varios tamaños de paquete. Los tamaños utilizados serán: 200 bytes (similar a lo que utilizan las aplicaciones de voz), 1400 bytes (cercano a la MTU de una red Ethernet) y 800 bytes (tamaño intermedio).

Si las medidas se toman sobre una red desplegada es conveniente tomar medidas en varios instantes del día acorde a la RFC 2330. Si las medidas se toman inyectando tráfico de forma intrusiva, bastará con tomar varias medidas seguidas en el tiempo.

4.2.6 RTT (Round Trip Time)

Para la medida de RTT se va a utilizar el protocolo ICMP. Se envían paquetes “Echo Request” y se espera la respuesta “Echo Reply”. El tiempo desde que se envía el “Echo Request” hasta que se recibe “Echo Reply” es el RTT.

En la RFC 2681 [RFC2681] se describe el RTT y su relación con el retardo en un único sentido, además habla de las ventajas y desventajas del RTT, así como de los problemas e incertidumbres que puede acarrear utilizar ICMP para obtener esta medida. El principal problema que se comenta es que los routers pueden no reenviar los mensajes ICMP por el mismo camino que otros mensajes IP, por lo que es necesario conocer cómo está implementado ICMP en el escenario de pruebas.

ITU recomienda la medida IPTD (IP Transfer Delay), que corresponde al tiempo de ida, desde que se envía el paquete “Echo Request” hasta que se recibe el “Echo Reply”, pero esta es una medida excesivamente complicada que requiere sincronizar los dos equipos terminales. En este caso asumimos simetría de la red, tiempo de ida igual a tiempo de vuelta, que es una suposición habitual en redes cableadas.

$$\text{IPTD} = \text{RTT} / 2$$

Para realizar la medida, se envía tráfico masivo, en sentido “downstream“, a dos calidades distintas, dos flujos que ocupen el 70% del BW de la conexión aproximadamente. Después se envía tráfico ICMP a una prioridad distinta y tasa muy inferior y se toman medidas del RTT para el flujo ICMP. El tráfico “downstream”, tiene como finalidad simular una carga de la red y ver como reaccionan los equipos ante dicha carga, esto rompe algo la simetría de la red pero se considerará ese error despreciable, puesto que es una situación normal en redes cableadas que el tráfico “downstream” sea superior al tráfico “upstream”. En redes ya desplegadas no es necesario inyectar tráfico adicional y se pueden tomar medidas en diferentes horarios de carga.

Las medidas se realizan para varios tamaños de paquete (200bytes, 800bytes, 1400bytes) y se toma el valor medio en intervalos de un minuto. Si las medidas se toman sobre una red desplegada es conveniente tomar medidas en varios instantes del día acorde a la RFC 2330. Si las medidas se toman inyectando tráfico de forma intrusiva, bastará con tomar varias medidas seguidas en el tiempo.

4.3 Medidas de calidad percibida por usuario final.

Estas son medidas de calidad sobre servicios en NGN.

Una de las ideas fundamentales de las NGN es ofrecer un estrato de transporte con interfaz abierta sobre la que cualquier compañía u organismo pueda ofrecer unos determinados servicios.

En este apartado se trata de identificar una serie de servicios básicos representativos, que cualquier proveedor de servicio pudiera explotar, y dar una serie de parámetros de calidad que verifiquen su viabilidad.

Ahora no se trata sólo de parámetros de red, existe además una mayor dependencia de los equipos finales utilizados y de la percepción del usuario.

En el Apéndice I del anexo B de la recomendación Y.2011 [ITU-Y2011], que habla sobre la estructura general de las NGN, se expone un ejemplo de aplicación convergente: Enseñanza a distancia y teleconferencia o videoteléfono:

Las necesidades de ancho de banda típicas para soportar cada uno de los servicios que se proponen son:

- HDTV: 3 canales de 20 Mbit/s.
- Videoteléfono: 4 canales de 4 Mbit/s.
- Servicio Internet: 20 Mbit/s.
- Servicio de voz de alta calidad: 2 Mbit/s.

Ancho de banda total del ejemplo: aproximadamente 100 Mbit/s. (98Mbit/s)

Este ejemplo ilustra perfectamente la orientación actual de las NGN. Así en base a este ejemplo y la definición de NGN vamos a identificar dos servicios básicos sobre los que realizar medidas de la QoS. Estos servicios básicos son:

- Video bajo demanda.
- Voz sobre IP.

Podría incluirse también la tráfico de datos en general (Servicio Internet), pero se asume que con los parámetros de red obtenidos en el apartado anterior queda bien definido ese servicio. Además se trata de un servicio con unos requerimientos inferiores al tráfico de vídeo y audio.

4.3.1 Evaluación de la calidad de vídeo transmitido a través de NGN.

El objetivo de este apartado es el de ofrecer una medida “subjetiva” de la calidad de imagen de un video almacenado en un servidor y que un cliente final recibe en un equipo de su casa. Esta medida es totalmente independiente del nivel de red, no importa cual sea la tecnología de red empleada.

Habitualmente estas pruebas se realizan reuniendo a grupos de personas y pidiéndoles opinión sobre la calidad del video que están observando. El ITU ofrece varias recomendaciones en las que detalla cómo realizar las pruebas y los objetivos a evaluar en las mismas. Estas recomendaciones se encuentran publicadas en ITU-R. ITU-R es el sector de ITU dedicado a las radiocomunicaciones, además se encuentra subdividido en varios sectores entre ellos: radiodifusión sonora (BS) para sonido y radiodifusión televisiva (BT) para video. Las normas del ITU-R no son libremente accesibles.

Este tipo de pruebas puede resultar bastante tediosas, además lleva asociada cierta aleatoriedad al depender la puntuación del grupo de personas reunidas o incluso el tipo de vídeo.

En el presente trabajo se ha optado por emplear una herramienta informática para

evaluar la calidad de video. Esta herramienta se llama VQM [VQMTR] y se puede obtener una licencia gratuita de seis meses de duración, solicitándola al Institute for Telecommunication Science (ITS).

VQM implementa el algoritmo expuesto en la NTIA report 02-392 (EEUU) que ha sido adoptado como estándar ANSI (T1.801.03-203) e incluido en dos recomendaciones del ITU, ITU-T J.144R e ITU-R BT.1683.

La ITU y otros organismos han publicado numerosas recomendaciones en las que se comparan los resultados obtenidos por herramientas informáticas de medida de la calidad, con los resultados obtenidos por grupos de opinión. En estos informes se estudia la correlación entre ambas medidas para diferentes algoritmos de cálculo de la calidad de vídeo. El algoritmo implementado por VQM es uno de los estudiados y recomendados por ITU.

VQM compara un video original de referencia con ese mismo vídeo después de haber sufrido algún tipo de procesado, ya sea el haber sido transmitido por algún canal de comunicación, ya el haber sido sometido a algún tipo de codificación-compresión.

En el caso que nos ocupa nos interesa conocer el efecto que tiene sobre el video el hecho de transmitirlo por la red NGN.

Las principales ventajas de utilizar un programa software en lugar de utilizar grupos de opinión son:

- La medida de calidad de video obtenida no depende de la percepción de ningún grupo de personas y puede ser repetida en cualquier lugar y momento.
- La puntuación obtenida no depende del video a utilizar o de la calidad del mismo, ya que VQM compara las variaciones del vídeo procesado respecto del original. Es decir, el video original tiene la máxima puntuación independientemente de si en el mismo ya existe algún artefacto óptico que pueda ser percibido por un usuario final.

Las pruebas han de realizarse para varios tamaños de imagen, aunque lógicamente los que impondrán mayores restricciones serán los de mayor calidad. Sería interesante probar con “codecs” distintos de vídeo, pero eso excede los objetivos de este proyecto ya que solo se pretende medir las prestaciones de la red y no la eficiencia de los codecs en la transmisión.

Tamaños de imagen de vídeo interesantes son CIF (352x258) típica para aplicaciones de videoconferencia, PAL (720x576) para televisión. Para las pruebas con vídeos CIF se recomienda trabajar con vídeos ampliamente difundidos en este ámbito como los que se pueden encontrar en [VIDEOS].

Más interesante aún sería probar con tamaños de imagen de alta calidad HDTV (1920x1080), pero VQM trabaja con imágenes sin ningún tipo de compresión RGB24 o con baja compresión UYVY, lo que hace que unos pocos segundos de uno de estos vídeos ocupe varios Gbits. Además en las hojas de documentación de VQM se especifica que 720x576 es el máximo tamaño de imagen para el que se ha testado el programa.

4.3.1.1 Descripción de las pruebas

La implementación básica de las pruebas depende fuertemente del software utilizado para tomar las medidas de calidad. Básicamente se trata de establecer una conexión de vídeo con un servidor en un extremo de la NGN y en el receptor realizar medidas de calidad del vídeo recibido.

VQM necesita el vídeo original y el que ha atravesado la red, además no puede procesar los vídeos en tiempo real por lo que es necesario guardar el vídeo transmitido en un fichero y luego realizar la comparación.

Las pruebas se realizan con:

- red vacía, sin carga.
- con tráfico que sature a una prioridad inferior.
- con tráfico que sature a la misma prioridad que el flujo de vídeo (se pierden tramas de vídeo)
- con tráfico de la misma prioridad que el vídeo pero sin que se sature la red.

4.3.1.2 Métricas en las que se van a ofrecer los resultados:

- **Vídeo Quality Metric (VQM)** que va entre 0 (no ha sufrido alteración apreciable) y 1 (ha sufrido el máximo de alteraciones). Esta métrica está descrita en el apéndice IX de la recomendación ITU-T j.149.
- **Double Stimulus Impairment Scale (DSIS)** está definida en la recomendación ITU-R BT.500. Esta métrica va de 1 (máxima alteración) a 5 (no hay alteración apreciable).

Se puede pasar de métrica VQM a DSIS con la siguiente expresión:

$$DSIS = -4.0 * VQM + 5$$

ITU-R BT.500-7 recomienda una escala de cinco grados:

- 5 – imperceptible
- 4 – perceptible pero no molesta
- 3 – ligeramente molesta
- 2 – molesta
- 1 – muy molesta

- **Peak Signal to Noise Ratio (PSNR):** da una medida de lo diferente que es el vídeo original respecto al procesado. Esta medida ha sido ampliamente utilizada en medios analógicos, da una idea de como se ha degradado la imagen, pero no tiene en cuenta si esa degradación es perceptible por el ojo humano o cuan molesta puede resultar al espectador.

La fórmula de la PSNR implementada por VQM es la siguiente:

$$\text{PSNR} = 20 \cdot \log(P_s/P_E)$$

P_s = señal de pico (235 según la norma BT.601 del ITU-R)

P_E = raíz cuadrada del error medio al cuadrado entre el vídeo original y el procesado

Esta definición difiere ligeramente de la propuesta en la recomendación ITU-T J.144, donde P_s vale 255.

VQM convierte mediante una función lógica el valor de PSNR a una métrica VQM (entre 0 y 1). Pero también da la medida en raw dB con un valor máximo de 130dB para prevenir errores de división por 0.

- **Otras medidas:** Puesto que VQM ofrece un análisis de los parámetros que degradan la calidad del vídeo, se indicarán también los valores de dichos parámetros.

Blurring: Distorsión global de la imagen, caracterizada por bordes difusos y poco detalle espacial

Jerky or Unnatural Motion: Percepción no continua del movimiento de la imagen, apreciación de salto entre fotogramas.

Global Noise: Ruido blanco gaussiano distribuido uniformemente en el vídeo. Típico en sistemas analógicos.

Block Distortion: Percepción de los bloques en que se dividen las imágenes para su compresión, aparecen como cuadrados resaltados en la imagen

Error Blocks: Percepción de bloques en el vídeo, pero ahora en esos bloques aparecen imágenes que nada tienen que ver con el resto de bloques de la imagen.

El efecto que cada uno de estos parámetros tiene en la medida VQM se da en porcentaje, donde 100% significa que este efecto indeseado (artifact) es percibido por el 100% de los observadores como el principal causante de la degradación del vídeo. 50% significa que el efecto indeseado es un causante secundario de la degradación del vídeo. 0% significa que el efecto indeseado no es perceptible.

4.3.2 Evaluación de la calidad de conversación de voz a través de NGN.

Para realizar estas pruebas se utilizará el programa “VQManager” [VQMNGD] .

VQManager es un software propietario, pero es posible descargar una versión de prueba con licencia de 30 días [VQMNGD] , después de esos 30 días se puede seguir utilizando el programa pero para monitorizar un máximo de 10 llamadas.

VQManager toma medidas de calidad de audio basándose en RTP. Genera gráficas y tablas con valores de medida en una interfaz web. Además existe versión para Windows y para Linux.

VQManager trabaja con SIP(RFC 3261 [RFC3261]), Cisco™ Skinny y RTP/RTCP (RFC 3550)

Para el cálculo de la MOS (Mean Opinion Score) se basa en: ITU standard E-Model definido en ITU-T G.107 [ITU-G.107]. Es un valor que va de 1 a 5, donde 1 es la peor calidad de voz y 5 la mejor. Los valores para VoIP suelen oscilar entre 3.5 y 4.2. Además de la MOS da valores de calidad de “R rating” o “R factor”, que da valores entre 0 (la peor calidad) y 100 (la mejor calidad). Existe una relación matemática entre la métrica R rating y MOS.

Este programa se puede instalar en cualquier punto de la red para extraer los parámetros de tráfico SIP en esos puntos. Además si se desea se puede hacer un “mirroring” de todo el tráfico de un equipo a un puerto específico donde escuche VQManager, ya que sólo puede escuchar en una única interfaz.

VQManager obtiene representaciones gráficas en tiempo real (cada 10 segundos, es la mayor velocidad de refresco) de los parámetros de red: llamadas SIP activas, intentos de llamada, llamadas fallidas, tipos de error, QoS, Jitter, retardo... Además se pueden exportar los datos a un PDF o a un fichero CSV.

Es un sistema de medidas no intrusivo, sólo observa el tráfico de red.

Está orientado, además de a la observación del tráfico de llamadas SIP, al

mantenimiento de la red, ya que permite definir una serie de alarmas cuando alguno de los parámetros de red supere el margen definido por el administrador.

En el presente proyecto no se pretende explotar al máximo las características del software VQManager y únicamente se empleará para monitorizar la calidad de una conversación de voz mantenida entre dos equipos finales.

Las medidas que se van a tomar son: Retardo, pérdida de paquetes y MOS. Para ello se ejecutarán dos instancias del programa VQManager, una en cada extremo de la conversación, aunque bastaría con ejecutarlo en uno sólo de los extremos ya que la medida de MOS que ofrece VQManager es para la conversación en ambos sentidos, para obtener los parámetros de calidad del otro extremo se basa en los valores del protocolo RTCP.

La implementación básica de las pruebas, al igual que en las pruebas de vídeo, depende fuertemente del software utilizado para tomar las medidas de calidad. Básicamente se trata de establecer una conversación de voz entre dos clientes finales en los que se monitorizará el tráfico de voz y se obtendrán medidas de calidad, MOS, acorde al E-Model definido en ITU-T G.107 [ITU-G.107]. No es necesaria la voz original para obtener medidas MOS según el E-Model, y además es posible obtener estas medidas en tiempo real.

Las pruebas se realizan con:

- Red vacía, sin carga.
- Con tráfico que sature a una prioridad inferior.
- Con tráfico que sature a la misma prioridad que el flujo de audio (se pierden tramas de audio)
- Con tráfico de la misma prioridad que el vídeo pero sin que se sature la red.

Para simular la carga de red se puede inyectar tráfico con cualquier herramienta, como por ejemplo Iperf. En redes ya desplegadas bastará con tomar medidas en diferentes franjas horarias.

5 Resultados obtenidos sobre un prototipo de NGN

En este capítulo se describe el escenario de pruebas sobre el que se llevaron acabo las pruebas planteadas en el capítulo anterior. Se describe el software utilizado para realizar las pruebas y se presentan los resultados obtenidos.

5.1 Descripción del escenario de pruebas

El escenario de pruebas es una red NGN que implementa cuatro prioridades de servicio. Se trata de un prototipo de laboratorio, no es una red desplegada en uso, con la estructura mostrada en la Figura 12.

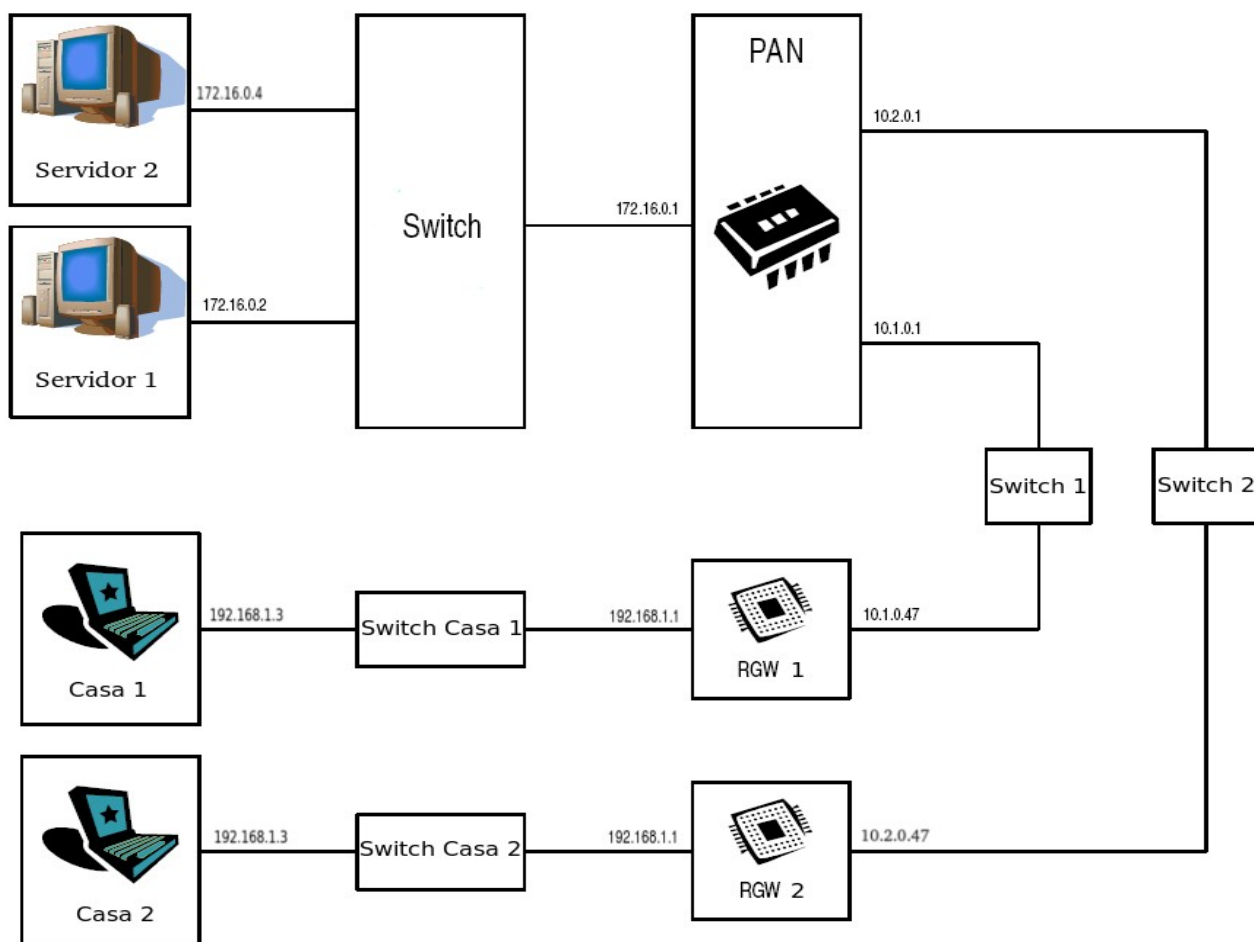


Figura 12: Escenario de pruebas

La prioridad de servicio está implementada con VLAN, un campo de la cabecera VLAN indica la prioridad de cada paquete. Los equipos de cada casa están conectados a una red Ethernet normal, sin prioridad de paquetes y sin cabecera VLAN.

Los RGW se encargan de asignar la prioridad correspondiente a cada paquete que llega de la red de la casa hacia el exterior (upstream) y le añaden la cabecera VLAN correspondiente, según las reglas definidas por el usuario. Así mismo, se encarga de eliminar la cabecera VLAN de los paquetes que vienen hacia la red de la casa desde el exterior (downstream). La prioridad de cada paquete se asigna acorde a unas reglas que el usuario introduce en el RGW a partir de una interfaz web. Por ejemplo, se puede indicar que todos los paquetes provenientes de la dirección 192.168.1.3 y destino la 172.16.0.2 se marquen como Real Time.

Los RGW tienen varias interfaces para conectar con las casas y realizan NAT tanto de las direcciones IP como de los puertos, por tanto es necesario definir los mapeos correspondientes cuando se desee enviar tráfico downstream a una de las casas.

PAN es un elemento que simula el núcleo NGN. Añade cabecera VLAN a los paquetes que van de los servidores a cada uno de los hogares (downstream) y quita la cabecera de los paquetes que hacen el recorrido contrario (upstream). Se ha dotado de una funcionalidad especial al PAN, de forma que al enviar flujos, desde los servidores, a unos determinados puertos de las direcciones pública de las casas (10.X.X.X), el PAN los marca con una determinada prioridad. Esto se hace así para enviar vídeo con el programa VLC. Además, el PAN, puede marcar los paquetes downstream mirando el campo TOS de la cabecera IP de los paquetes, que se puede establecer con el programa Iperf.

La tecnología de enlace empleada en toda la red es Ethernet (100Mbps/s). La MTU es 1500 bytes. La cabecera VLAN son 20 bytes, este es un detalle importante a tener en cuenta cuando se desee enviar paquetes de tamaño cercano a la MTU sin que sufran fragmentación.

Para establecer la conversación de audio existe en el “Servidor 1” un servidor SIP contra el que se registran los teléfonos existentes en cada una de las casas. Los teléfonos utilizados para este fin son teléfonos software (softphones) que se ejecutan en los ordenadores de las casas.

5.2 Parámetros de red

Todas estas pruebas se han realizado con equipos Linux, ya que tienen mayor precisión a la hora de contar tiempo, y sin interfaz gráfica, ya que se observó una menor eficiencia de los equipos a la hora de recibir y enviar paquetes si la interfaz gráfica se encontraba activa.

5.2.1 Ancho de banda (BW)

Para realizar esta medida, se lanza una instancia de Iperf en modo servidor en una de las casas de la maqueta, mientras en uno de los servidores se lanza Iperf, en modo cliente, contra la dirección pública de la casa en la que se está ejecutando el servidor Iperf. Para realizar esto es necesario configurar las reglas del NAT de forma adecuada. Los datos recogidos en el servidor Iperf son los que dan el ancho de banda.

La red está limitada a 80Mbps/s, emulando una red real donde el usuario contrate esta tasa. Los anchos de banda aquí mostrados son de datos del protocolo de transporte (TCP o UDP), así que deben ser menores a 80Mbps/s. Se han expresado en ancho de banda de datos porque es la forma de trabajar de Iperf y ping.

La cabecera IP+UDP son 28 bytes, la cabecera TCP+IP son 40 bytes. En las Figura

13 y Figura 14 se muestra detalladamente el contenido de las cabeceras TCP y UDP.

La cabecera IP es igual para los dos protocolos, longitud 20 bytes, sin campo de opciones ni padding.

+	Bits 0 - 3	4 - 7	8 - 15	16 - 31
0	Puerto Origen			Puerto Destino
32	Número de Secuencia			
64	Número de Acuse de Recibo (ACK)			
96	longitud cabecera TCP	Reservado	Flags	Ventana
128	Checksum			Puntero Urgente
160	Opciones + Relleno (opcional)			
224	Datos			

Figura 13: Cabecera TCP

+	Bits 0 - 15	16 - 31
0	Puerto origen	Puerto destino
32	Longitud del Mensaje	Checksum
64	Datos	

Figura 14: Cabecera UDP

Como puede observarse la cabecera UDP es mucho más corta, puesto que el protocolo UDP es muy sencillo y prácticamente no realiza ningún tipo de control sobre los datos, si exceptuamos el Checksum (que se realiza sobre el campo “datos”, la cabecera UDP y las direcciones IP origen y destino) y el campo “longitud de mensaje” (que indica la longitud del datagrama UDP Datos+8bytes de cabecera). Aunque se detectase algún error gracias a alguno de estos dos campos, no se solicita retransmisión del datagrama.

Todo esto hace que UDP sea un protocolo muy eficiente a la hora de transmitir informaciones que requieren un gran ancho de banda y donde la pérdida de datagramas no es crítica. Ya que apenas se pierde eficiencia por la transmisión de cabecera ni la retransmisión de los mismos.

Por tanto, UDP se suele utilizar como protocolo de transporte para vídeo y voz, sobre

todo en tiempo real, donde se requiere gran ancho de banda y donde la calidad de los mismos se ve más afectada por el retardo y la variación del mismo que por la pérdida esporádica de algún datagrama.

TCP se suele utilizar para transmisiones en que la pérdida de paquetes resulta crítica y/o donde es necesario el establecimiento y control de una sesión. Como por ejemplo en la transmisión de ficheros, o para la ejecución de comandos sobre terminal remoto.

Puede ocurrir que al transmitirse ambos protocolos sobre la misma red, de forma que esta se sature, que el protocolo TCP acabe cediendo ancho de banda ante el protocolo UDP, debido al control de errores y a la reducción automática de la tasa de envío que realiza ante pérdidas de paquetes. He aquí una de los problemas que pueden solucionarse con la priorización de tráfico propuesta por NGN, que permitiría a un flujo TCP enviar a la máxima capacidad reservada, sin que el tráfico UDP se adueñara de todo el ancho de banda.

Con Iperf, en modo UDP, es necesario especificar el ancho de banda que se desea enviar, en el cliente Iperf. Se elije un ancho de banda por encima de 80Mbits/s. Una vez que las colas de red se llenen, el servidor Iperf comenzará a mostrar el verdadero ancho de banda de la red. Por tanto, los datos aquí mostrados de ancho de banda, son los mostrados por Iperf pasados unos segundos del comienzo del envío, una vez que las colas se han llenado y el sistema se encuentra estable.

Protocolo y bytes de datos por paquete	UDP (200 bytes)	UDP (800 bytes)	UDP (1400 bytes)	UDP (1452 bytes)	TCP (1440 bytes)
BW (Mbits/s)	70.2	77.3	78.4	78,5	77,2

Tabla 3: Anchos de banda de datos por tamaño de paquete y protocolo.

Los datos son los que cabía esperar: El ancho de banda disminuye al disminuir el tamaño de los paquetes, puesto que se pierde eficiencia al incrementarse el número de bytes de cabecera por datos enviados. El ancho de banda TCP máximo es menor que el máximo UDP, puesto que la cabecera TCP es mayor que la cabecera UDP.

Estos valores son muy interesantes como apoyo a las pruebas que se van a realizar a continuación, ya que se va a trabajar con Iperf en modo UDP y es necesario indicar el ancho de banda de datos que se desea enviar. Al conocer el ancho de banda para cada uno de los tamaños de paquete, sabemos el ancho de banda de cada uno de los flujos necesarios para no saturar la conexión.

5.2.2 Jitter o IPDV

Para realizar esta medida es necesario modificar ligeramente el escenario de pruebas. El escenario es el mostrado en la figura Figura 15. El escenario y las pruebas son exactamente iguales para las medidas de Jitter y de pérdida de paquetes, ambas medidas se toman simultáneamente. Iperf muestra a la vez la medida de pérdida de paquetes y el Jitter.

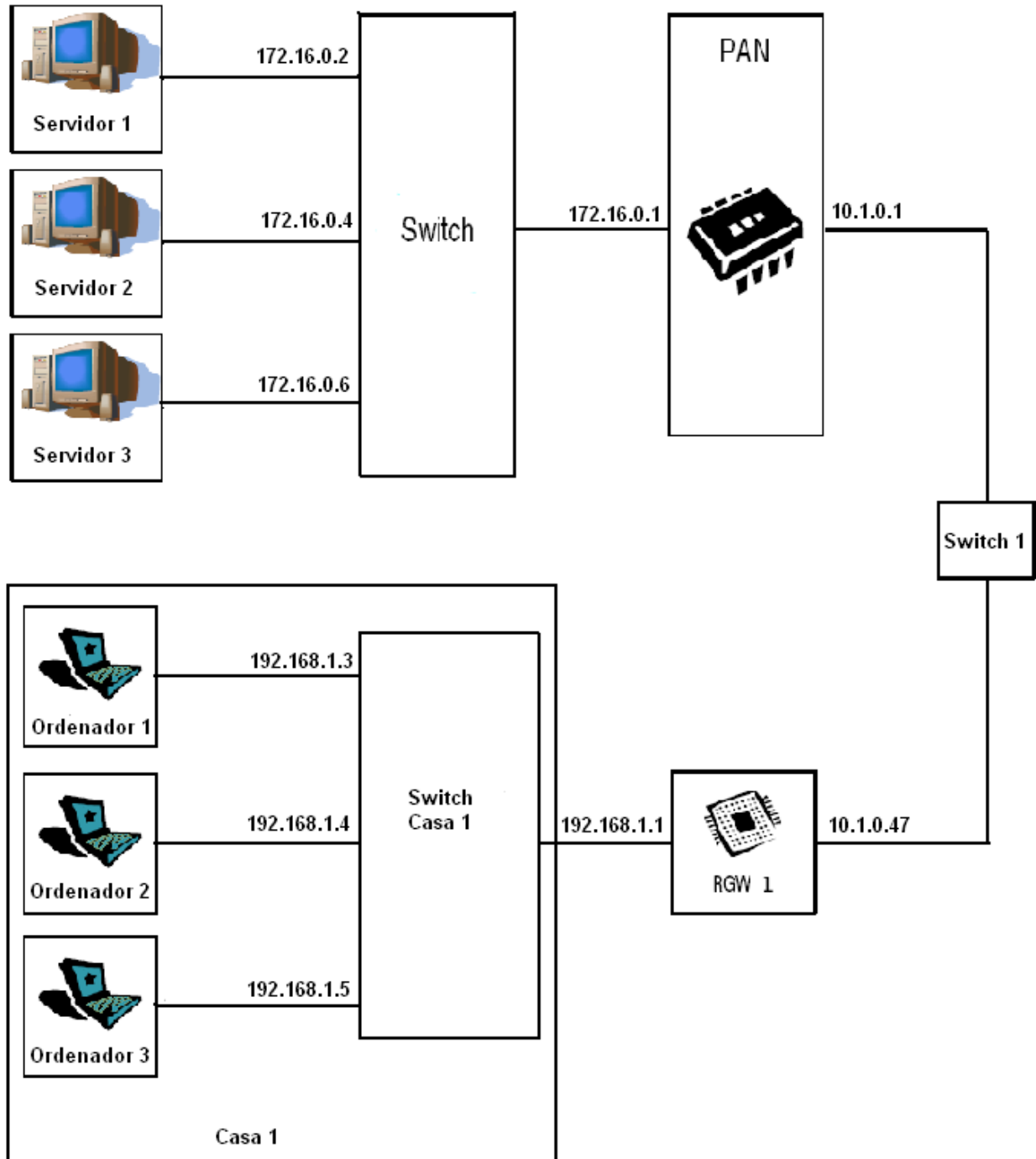


Figura 15: Escenario de pruebas: Medida del Jitter

La forma en que se utiliza Iperf se describe en el apartado 7.1

Para medir el Jitter se envían tres flujos de 20Mbps/s de datos UDP, cada uno a una calidad distinta, desde servidores distintos a cada uno de los ordenadores de la “Casa 1”. Esto hace un total de 60Mbps/s de datos UDP, que supone una carga considerable del sistema.

Cada flujo se envía y se recibe con un par de equipos distintos, porque no es deseable que la medida de los parámetros se vea alterada por ineficiencias de los equipos finales. Aunque es imposible no alterar los resultados con el aparato de medida, esta solución pretende minimizar tal efecto. Con la misma finalidad, todos los equipos están funcionando sin interfaz gráfica.

En las siguientes tablas se representa la variación del jitter de los paquetes muestreado en intervalos de un segundo. Cada flujo se envía durante 300 segundos (5 minutos). Primero comienza enviándose el flujo con prioridad Elastic, 30 segundos más tarde comienza a enviarse el flujo Real Time y 30 segundos más tarde el flujo Low Latency. Se ha hecho así, para observar los efectos sobre otros flujos al añadir uno nuevo al planificador del Gateway.

A continuación se muestran los resultados del jitter medio, en milisegundos, para intervalos de un minuto, para las distintas calidades de servicio y para las distintas prioridades. En la última columna se muestra el jitter medio en los cinco minutos y su desviación estándar (raíz cuadrada de la varianza, unidades de ms)

- Paquetes de tamaño 200 bytes.

	minuto 1 (ms)	minuto 2 (ms)	minuto 3 (ms)	minuto 4 (ms)	minuto 5 (ms)	Total (media ± desviación estándar) ms
Low Latency (max priority)	0.0352	0.0348	0.0354	0.0347	0.0506	0.0381±0.0077
Real Time	0.0382	0.0350	0.0353	0.0365	0.0377	0.0366±0.0039
Elastic (min priority)	0.0703	0.0549	0.0575	0.0579	0.0586	0.0598±0.0116

Tabla 4: Jitter medio en ms para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 200 bytes.

- Paquetes de tamaño 800 bytes.

	minuto 1 (ms)	minuto 2 (ms)	minuto 3 (ms)	minuto 4 (ms)	minuto 5 (ms)	Total (media \pm desviación estándar) ms
Low Latency (max priority)	0.0044	0.0050	0.0042	0.0041	0.0023	0.004 \pm 0.0056
Real Time	0.0054	0.0043	0.0048	0.0037	0.0045	0.0045 \pm 0.005
Elastic (min priority)	0.0091	0.0098	0.0097	0.0101	0.0102	0.0098 \pm 0.0042

Tabla 5: Jitter medio en ms para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 800 bytes.

- Paquetes de tamaño 1400 bytes.

	minuto 1 (ms)	minuto 2 (ms)	minuto 3 (ms)	minuto 4 (ms)	minuto 5 (ms)	Total (media \pm desviación estándar) ms
Low Latency (max priority)	0.0058	0.0104	0.0120	0.0194	0.0037	0.0102 \pm 0.0094
Real Time	0.0031	0.0025	0.0034	0.0043	0.0041	0.0035 \pm 0.0042
Elastic (min priority)	0.0156	0.0184	0.0113	0.0086	0.0088	0.0125 \pm 0.011

Tabla 6: Jitter medio en ms para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 1400 bytes.

Como puede apreciarse en todos los casos el jitter es muy inferior a los 50ms recomendados por el ITU Tabla 2. Pero también hay que tener en cuenta que las medidas se han realizado sobre una maqueta de laboratorio y no sobre una red completa ya desplegada.

En una de las tablas de la recomendación ITU Y-1541 Tabla 7 se muestran los valores esperados para elementos de red por separado. Estos valores son para una red IP actual, sin prioridad de servicio.

En la red del laboratorio se está evaluando la calidad del RGW (Pasarela de acceso), que es quien clasifica los paquetes según la prioridad, ya que el PAN se limita a marcar paquetes con una determinada prioridad, según el puerto en que los recibe. Aunque el PAN

también contribuye al aumento del retardo, se considerará su efecto despreciable frente al del RGW.

Aún comparando los parámetros obtenidos en la red del laboratorio con los esperados para una pasarela de acceso como la de la Tabla 7, observamos que el Jitter (o Variación del retardo) sigue siendo mucho menor.

Función	Retardo total promedio (suma de colas y procesamientos)	Variación de retardo
Pasarela de acceso	10 ms	16 ms
Pasarela de interfuncionamiento	3 ms	3 ms
Distribución	3 ms	3 ms
Núcleo	2 ms	3 ms

Tabla 7: Recomendación Y-1541: Ejemplos de contribución de retardo convencional por la función del encaminador

En la Tabla 8 se muestran los tiempos de inserción de los paquetes de diferente tamaño (para un BW de 80Mbits/s) así como el tiempo entre paquetes para flujos de 20Mbits/s. Para destacar la gran estabilidad del jitter obtenido. Notar que al utilizarse BW de datos, al enviar paquetes más pequeños se están enviando más paquetes a una tasa mayor para mantener dicho BW, lo que puede repercutir en una degradación para el flujo de paquetes de tamaño menor. De ahí la necesidad de indicar el tamaño de paquete empleado en cada una de estas pruebas. En todos los casos es necesario asegurarse de no sobrepasar el BW de la red, por eso es importante realizar las pruebas de BW.

	1400 bytes	800 bytes	200 bytes
tiempo de inserción (ms)	0.14	0.08	0.02
tiempo entre paquetes (ms)	0.56	0.32	0.08

Tabla 8: Relación entre tamaños de paquete, tiempo de inserción y tiempo entre envío de paquetes, para enlace Ethernet de 80 Mbits/s y flujo de 20 Mbit/s

En general la variación del retardo aumenta al aumentar el tamaño de los paquetes y disminuye al aumentar la prioridad del flujo. En el caso de la red del laboratorio esta variación es muy pequeña y está asociada fuertemente al rendimiento de los equipos, aunque en una red

ya desplegada, con mayor complejidad y trayectos más largos, se observaría una mayor variación del retardo.

5.2.3 Pérdida de paquetes

Como ya se ha comentado en el apartado anterior, el escenario y la forma de realizar las pruebas es exactamente la misma que para el Jitter, ya que Iperf muestra simultáneamente ambas medidas.

- Paquetes de tamaño 200 bytes.

	minuto 1 (%)	minuto 2 (%)	minuto 3 (%)	minuto 4 (%)	minuto 5 (%)	Total (media \pm desviación estándar) %
Low Latency (max priority)	0.0050	0	0	0	0	0.0010 ± 0.0175
Real Time	0.0028	0.1008	0	0.0027	0	0.0212 ± 0.2407
Elastic (min priority)	1.9550	0.0019	0.0045	0.0032	0.0128	0.3955 ± 1.9078

Tabla 9: Porcentaje medio de pérdidas para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 200 bytes.

- Paquetes de tamaño 800 bytes.

	minuto 1 (%)	minuto 2 (%)	minuto 3 (%)	minuto 4 (%)	minuto 5 (%)	Total (media \pm desviación estándar) %
Low Latency (max priority)	0	0	0	0	0	0 ± 0
Real Time	0.0011	0.0359	0	0	0	0.0074 ± 0.1243
Elastic (min priority)	0	0	0	0	0	0 ± 0

Tabla 10: Porcentaje medio de pérdidas para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 800 bytes.

- Paquetes de tamaño 1400 bytes.

	minuto 1 (%)	minuto 2 (%)	minuto 3 (%)	minuto 4 (%)	minuto 5 (%)	Total (media ± desviación estándar) %
Low Latency (max priority)	0.0028	0	0	0	0	5.5804e-04 ± 0.0097
Real Time	0.0028	0	0	0.0346	0	0.0075 ± 0.1204
Elastic (min priority)	0	0	0	0	0	0 ± 0

Tabla 11: Porcentaje medio de pérdidas para intervalos de 60 s y total (5 minutos) en paquetes de tamaño 1400 bytes.

Según la Tabla 2 y las recomendaciones del ITU las pérdidas medias en intervalos de 60s deben ser inferiores a $1 \cdot 10^{-3}$ (0.1%) para los tres flujos observados. Como puede observarse en la Tabla 9, esto no se cumple para paquetes de tamaño pequeño (200 bytes), pero sólo ocurre en uno de los 5 minutos observados.

Además las pérdidas ocurren en ráfagas de corta duración como puede observarse en los resultados obtenidos por Iperf segundo a segundo, o en los datos de cada minuto de las tablas y su varianza.

También cabe observar que las perdidas son mayores para tamaños de paquete pequeños, lo que resulta predecible, ya que se están enviando flujos de BW constante (20Mbps/s) y al disminuir el tamaño de paquete es necesario aumentar su número por lo que la probabilidad de pérdida aumenta, así como el BW efectivo enviado por la red.

5.2.4 RTT

El escenario para la realización de esta medida es el mismo que el utilizado para las medidas anteriores.

Para medir el RTT, se envían dos flujos de 30Mbps/s, con Iperf, a dos calidades distintas de forma que se simula una cierta carga de la red (un total de 60Mbps/s). Para medir el retardo se envía tráfico con la herramienta “ping” a otro servidor con una prioridad distinta.

La forma en la que se utiliza la herramienta Ping está descrita en el apartado [7.2.Ping](#)

Ping envía tráfico ICMP [ICMP], se emplean varios tamaños de paquete para ver

como influye el tamaño en el retardo de los mismos.

ICMP es un subprotocolo de IP que se utiliza por los diferentes componentes de la red para la notificación y control de errores, como por ejemplo indicar que un determinado equipo o nodo no está disponible.

El tamaño de paquete es tamaño de datos ICMP, la cabecera ICMP tiene el mismo tamaño que la cabecera UDP+IP. En la configuración de Ping utilizada se envían 100 paquetes por segundo, lo que supone un BW de 1.12Mbps/s en el caso de paquetes de 1400bytes y 160Kbits/s en el caso de paquetes de 200 bytes.

	Bit 0 - 7	Bit 8 - 15	Bit 16 - 23	Bit 24 - 31
Cabecera IP (20 Bytes)	Version/IHL	Type of service	Length	
	Identification		flags et offset	
	Time To Live(TTL)	Protocol	Checksum	
	Source IP address			
	Destination IP address			
ICMP (8 Bytes)	Type of message	Code	Checksum	
	Quench			
	Data (optional)			

Figura 16: Paquete ICMP enviado por ping

A continuación se muestran los datos obtenidos con ping en el siguiente formato:
mínimo retardo observado/media del retardo/máximo retardo observado/desviación estándar del retardo.

- Red sin carga

	Low Latency (ms) (max priority)	Real Time (ms)	Elastic (ms) (min priority)
200 bytes	0.580/0.599/3.075/0.042	0.602/0.621/2.462/0.029	0.758/0.804/3.643/0.055
800 bytes	1.152/1.184/26.292/0.186	1.183/1.212/3.698/0.057	1.244/1.289/3.757/0.051
1400bytes	1.663/1.678/4.492/0.046	1.667/1.805/4.301/0.062	1.730/1.789/4.541/0.048

Tabla 12: RTT medio para intervalos de 90 segundos sin carga adicional de la red.

- Red cargada con 2 flujos de 30Mbps/s

	Low Latency (ms) (max priority)	Real Time (ms)	Elastic (ms) (min priority)
200 bytes	0.623/1.016/12.985/1.010	0.656/1.167/17.122/1.651	0.851/1.141/22.7/0.7126
800 bytes	1.119/1.386/13.458/0.485	1.183/1.503/22.087/0.469	1.214/1.876/33.446/2.606
1400bytes	1.690/1.826/4.858/0.093	1.695/1.862/6.088/0.135	1.750/2.021/17.965/1.109

Tabla 13: RTT medio para intervalos de 90 segundos con carga adicional de la red de 60Mbps/s.

El retardo de los paquetes más pequeños es menor, puesto que su tiempo de inserción es menor.

Al cargar la red se observa como aumentan los retardos, esto se debe tanto a la carga de los equipos como al hecho de que entre el PAN y los servidores existe una red IP normal (sin prioridad de servicio), lo que hace que sea imposible que el flujo Low Latency no se vea afectado por la carga con flujos de prioridad inferior.

El flujo enviado con “Ping” es un flujo de ida y vuelta, por tanto es necesario definir el tratamiento de los flujos en el RGW en ambos sentidos.

Según la Tabla 2 el retardo en una red en el caso más restrictivo tiene que ser inferior a 100ms que está muy lejos de los 2ms que se consiguen con calidad elastic y tamaño de datos 1400bytes. Aún así en la Tabla 7 se dice que el retardo medio esperado para una pasarela convencional, actual, es de 10ms que es también muy superior a 2ms.

5.3 Transmisión de vídeo

En este apartado vamos a proceder a realizar las pruebas de calidad de vídeo. Primero se describirán los vídeos utilizados y el escenario de pruebas y posteriormente se procederá al análisis de los resultados.

5.3.1 Descripción de los vídeos y del escenario de pruebas

Para observar como se ve afectada la calidad del vídeo al enviarlo por la red se utilizarán varios vídeos con diferentes propiedades y tamaños.

- Vídeo “**Santana**”, tamaño PAL (720x576), 25fps, es un fragmento de vídeo musical con gran cantidad de movimiento y cambios de escena, de duración 24 segundos. El tamaño del vídeo comprimido con MPEG4 y en contenedor MPEG-TS (tal y como se envía por la red) es de 133Mbits ($133\text{Mbits}/24\text{s} = 5,5 \text{ Mbits/s}$)
- Vídeo “**Akiyo**”, tamaño CIF (352 x 288), 30fps, vídeo ampliamente utilizado como vídeo de referencia en este tipo de pruebas. Es un fragmento de informativo telediario, sin apenas movimiento, sólo la cara y cabeza de la presentadora. El vídeo original tiene una duración de 11s, para la prueba se ha utilizado un vídeo compuesto por la agregación de tres vídeos originales, con una duración total de 36s. El tamaño del vídeo comprimido con MPEG4 y en contenedor MPEG-TS (tal y como se envía por la red) es de 75.2Mbits ($75.2\text{Mbits}/36\text{s} = 2.1\text{Mbits/s}$)
- Vídeo “**football**”, tamaño CIF (352 x 288), 30fps, al igual que el anterior es un vídeo de referencia ampliamente difundido en este tipo de pruebas. Es un fragmento de un partido de football americano, con fondo casi estático y mucho movimiento de jugadores. El vídeo original es de 3s, se ha agregado varias veces el mismo vídeo para lograr una duración total de 32s. El tamaño del vídeo comprimido con MPEG4 y en contenedor MPEG-TS (tal y como se envía por la red) es de 208Mbits ($208\text{Mbits}/32\text{s} = 6.5\text{Mbits/s}$)

VQM no acepta vídeos de duración menor a 4s ni de duración mayor a 30s. Para analizar vídeos más largos es necesario dividirlos en segmentos más cortos y realizar un análisis individual para cada vídeo.

El escenario de pruebas es el de la Figura 15 pero en este caso sólo se utilizan dos pares Servidor-Ordenador, uno para transmitir el vídeo downstream y otro para enviar tráfico downstream con “iperf” que simula carga de red.

Los flujos a utilizar serán con paquetes de tamaño 1400 bytes y con unas velocidades de 60Mbits/s y 80Mbits/s, a diferentes calidades. El vídeo se envía con prioridad Real Time.

Todo el tráfico se envía con conexiones UDP, como vimos en el apartado de medida de ancho de banda, este era de 78,4 Mbits/s de datos UDP para paquetes de tamaño 1400 bytes, que es aproximadamente el tamaño de los paquetes de vídeo.

Los resultados de los parámetros descritos en el apartado 4.3.1 se muestran para cada vídeo en las tablas Tabla 14 Tabla 15 Tabla 16.

5.3.2 Santana

	Sólo volcado a fichero	Sin tráfico adicional	Con flujo de 60Mbits/ s de menor calidad	Con flujo de 80Mbits/ s de menor calidad	Con flujo de 60Mbits/ s de igual calidad	Con flujo de 79Mbits/ s de igual calidad (pixela)
VQM	0	0.1921	0.1022	0.1022	0.1022	0.8433
Double Stimulus Impairment	5	4.2317	4.5911	4.5911	4.5911	1.0392
Blurring	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Jerky	0%	18%	14%	14%	14%	100%
Global Noise	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Block Distortion	0%	54%	45%	45%	45%	93%
Error Blocks	0%	18%	11%	11%	11%	29%
PSNR Raw Value	130 dB	33.3329 dB	35.1741 dB	35.0995 dB	35.1741 dB	4.0067 dB

Tabla 14: Parámetros de calidad para el vídeo "Santana", con flujos de diferente intensidad cargando la red.

La prueba de volcado a fichero se hace para demostrar que efectivamente la degradación del vídeo se debe a la transmisión por la red y no al procesado posterior de los vídeos. Esta prueba no se repetirá para los siguientes vídeos.

Como puede observarse no hay degradación del vídeo, ya que, tanto la medida VQM (0=degradación imperceptible; 1=degradación muy molesta), como la Double Stimulus Impairment (5=no degradación; 1=máxima degradación) y la PSNR (130dB= no degradación) son las mejores posibles. Donde la métrica Double Stimulus Impairment no es más que un escalado de la métrica VQM y la PSNR es una medida de la diferencia entre el vídeo original y el transmitido, como se comentó en el apartado 4.3.1.

La mayor degradación del vídeo aparece al principio del mismo, en todos los casos en que hay degradación. Este efecto ya se había observado a la hora de medir los parámetros de red, donde las mayores pérdidas y variaciones del retardo se localizaban al inicio de la transmisión del flujo.

Al tratarse de una transmisión digital está libre de Jerky y global noise.

El caso en que solo se envía tráfico de vídeo es ligeramente peor que cuando sí se envía tráfico adicional y puede deberse a la pérdida de paquetes al inicio de transmisión de un flujo, hecho que también fue observado en la medición de parámetros de red. En este caso al tratarse de fragmentos de vídeo cortos una degradación al principio del vídeo hace que la medida de calidad baje significativamente, sobre todo teniendo en cuenta que la codificación MPEG4 utiliza codificación diferencial y pérdidas en un frame determinado pueden influir en los frames siguientes.

Aunque se aprecian algunos efectos indeseables en el vídeo en casos en los que no deberían existir pérdidas de paquetes, una puntuación DSI por encima de 4 indica que la calidad del vídeo es más que aceptable.

Al tratarse de una transmisión digital no existe “Global Noise” ni “Blurring”, típicos de transmisiones analógicas como se comentó en el apartado 4.3.1.

Por tanto los efectos que contribuyen a la degradación del vídeo son “Jerky”, “Error Block” y “Block Distortion”. Y sobre todo “Block distortion” que entre el 54% y el 45% de la población lo percibiría como el principal causante de la degradación del vídeo.

En cuanto a la PSNR destacar, como ya se hizo en el apartado 4.3.1, que lo que obtiene es una medida de la diferencia entre el vídeo original y el transmitido, sin tener en cuenta si esas diferencias son o no perceptibles por el ojo humano

Por último, al enviar un flujo de 79Mbps/s, se observa que la medida es muy mala. El vídeo es casi imposible de seguir, se ve relativamente bien durante unos segundos y

posteriormente cuando las colas del sistema se saturan y comienzan a descartarse paquetes, el vídeo degenera totalmente. Este comportamiento es igual para el resto de los vídeos.

5.3.3 Football

	Sin tráfico adicional	Con flujo de 80 Mbits/s de menor calidad	Con flujo de 60Mbits/s de igual calidad	Con flujo de 79Mbits/s de igual calidad (pixela)
VQM	0	0	0	0.9614
Double Stimulus Impairment	5	5	5	1.1544
Blurring	0%	0%	0%	0%
Jerky	0%	0%	0%	100%
Global Noise	0%	0%	0%	0%
Block Distortion	0%	0%	0%	100%
Error Blocks	0%	0%	0%	23%
PSNR Raw Value	130.0000 dB	130.0000 dB	130.0000 dB	1.3922 dB

Tabla 15: Parámetros de calidad para el vídeo "Football", con flujos de diferente intensidad cargando la red

Este vídeo pese a ser el de mayor tamaño y mayor tasa de bits no se ve afectado por efectos indeseables en la transmisión. Quizá debido a que la tasa de transmisión se mantiene uniforme, ya que el vídeo tiene gran cantidad de movimiento en todo momento. En el vídeo de Santana sin embargo se alternan escenas con mucho movimiento con otras casi estáticas, lo que hace que la tasa de transmisión sea muy variable.

5.3.4 Akiyo

	Sin tráfico adicional	Con flujo de 80 Mbits/s de menor calidad	Con flujo de 60Mbits/s de igual calidad	Con flujo de 79Mbits/s de igual calidad (pixela)
VQM	0.0096	0.0092	0.0093	0.9663
Double Stimulus Impairment	4.9629	4.9631	4.9629	1.3166
Blurring	0%	0%	0%	0%
Jerky	0%	0%	0%	100%
Global Noise	0%	0%	0%	0%
Block Distortion	0%	0%	0%	100%
Error Blocks	0%	0%	0%	17%
PSNR Raw Value	64.3145 dB	39.6497 dB	64.3145 dB	-24.5255 dB

Tabla 16: Parámetros de calidad para el vídeo "Akiyo", con flujos de diferente intensidad cargando la red

A pesar de no tener el máximo valor de PSNR, puede apreciarse que la diferencia con el vídeo original es prácticamente imperceptible para el ojo humano, como queda reflejado en la medida VQM.

Los valores de calidad son bastante buenos. Aunque este es el vídeo de menor tasa y en principio no debería haber ningún problema en la transmisión siempre que haya ancho de banda disponible, se aprecia un ligera degradación del vídeo como puede apreciarse en los resultados ofrecidos por VQM.

En este vídeo, prácticamente, el único bloque que cambia es el que contiene la boca de la presentadora y una pérdida de sincronismo de los frames lleva a un efecto de bloque molesto pero localizado en un área pequeña de la imagen global.

5.4 Conversación de voz

En este caso es necesario variar el escenario de pruebas, ya que lo que se pretende medir es la calidad de audio entre dos hogares. El escenario será el mostrado en la Figura 17. La línea más gruesa representa el camino que siguen los paquetes enviados con Iperf en sentido downstream (de “Servidor 2” a “Casa 2”) para simular un cierto tráfico de red. La línea discontinua indica el camino que recorren los paquetes de voz.

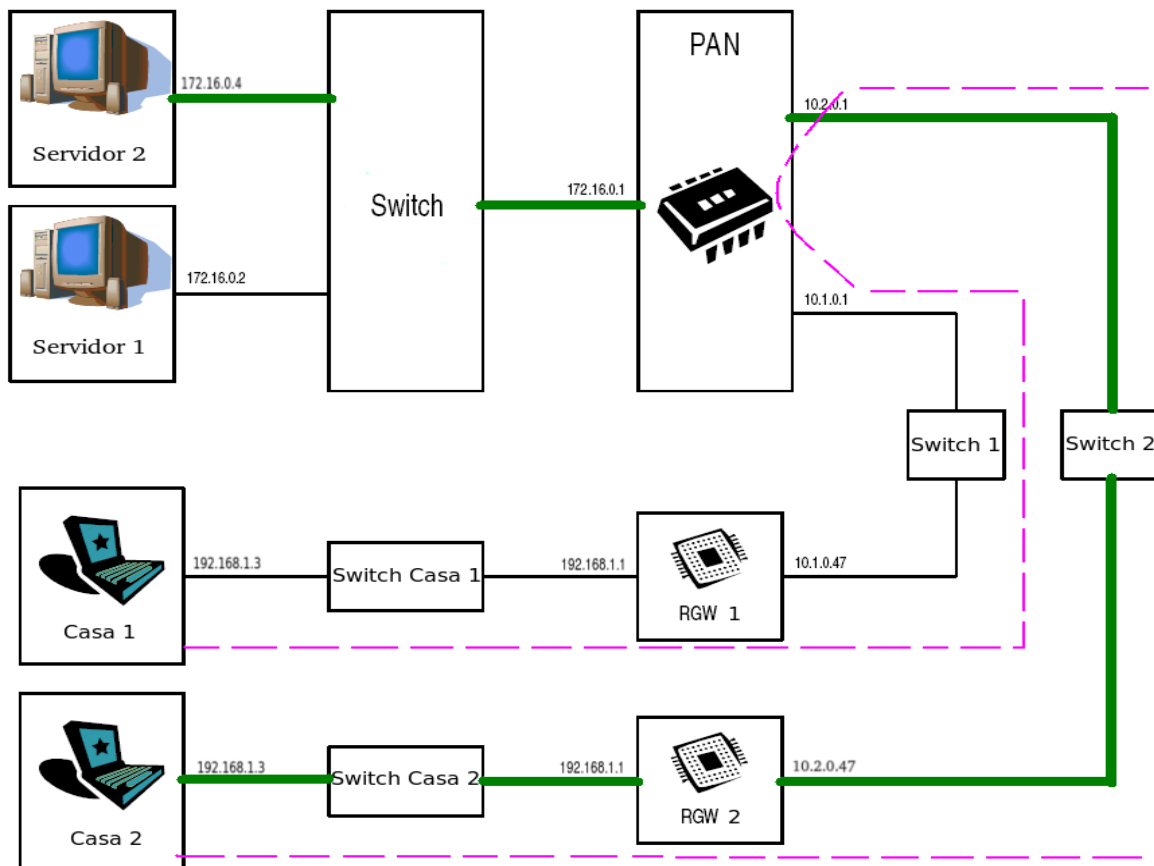


Figura 17: Escenario de pruebas de calidad de voz entre usuarios finales

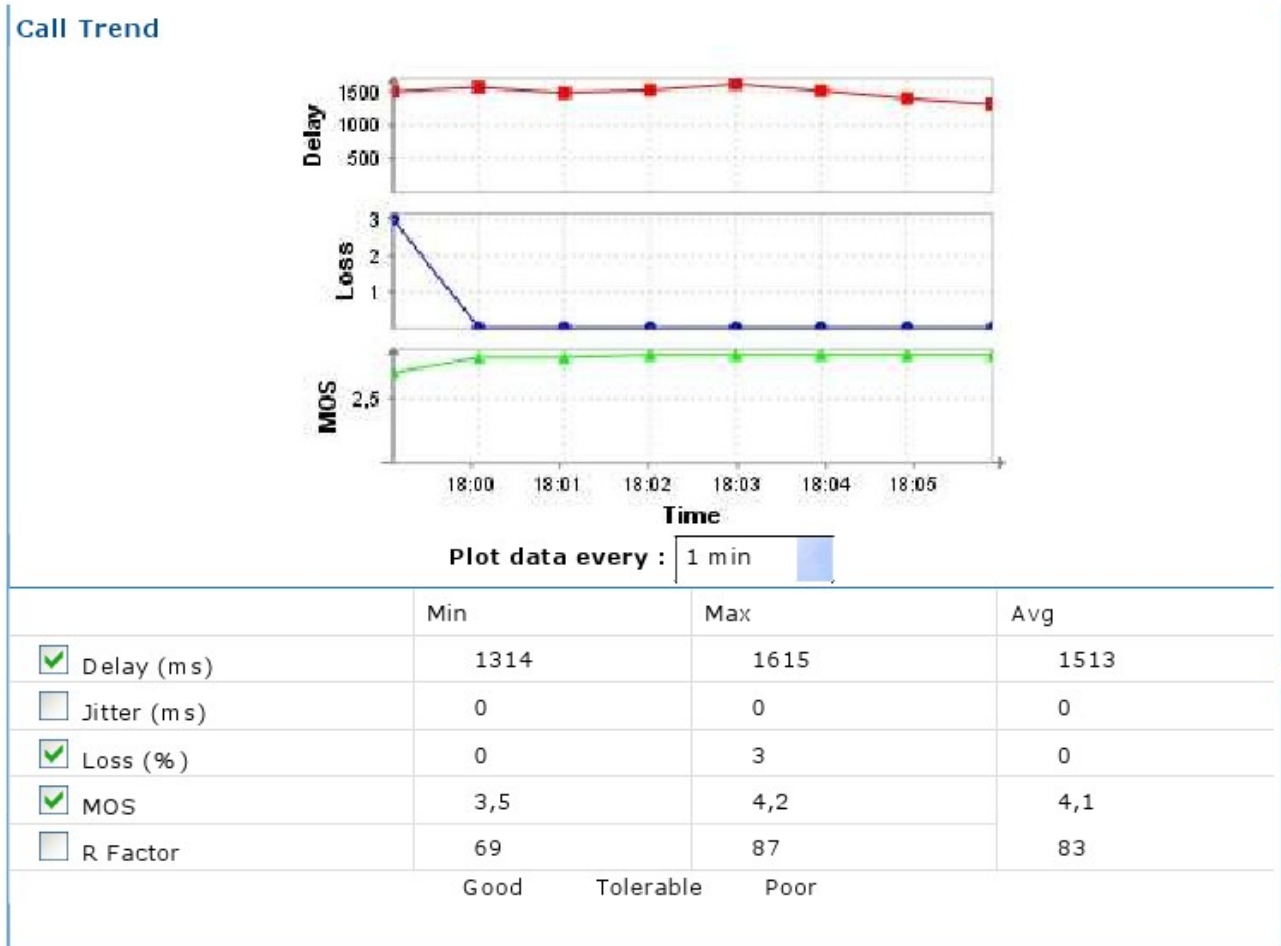
En las dos casas los equipos utilizan el Sistema Operativo Windows XP. Para establecer las llamadas se utiliza el softphone “Kapanga” [KAP]. Se trata con esto de simular un hogar estándar, hoy en día en la mayoría de los hogares se utiliza Windows. Por tanto, ya que estas son unas pruebas de calidad de servicio orientadas al usuario final es recomendable utilizar un software semejante al utilizado por la mayoría de los usuarios.

El programa utilizado para establecer la conversación de voz es “Kapanga”, que es un teléfono software. En la configuración actual no utiliza detector de silencios y envía paquetes de forma continua a una tasa aproximada de 173 Kbits/s (upstream más downstream) Los paquetes son de tamaño 172 bytes (datos UDP) (20ms).

Para simular tráfico en la red se envían flujos desde un servidor a un equipo dentro de la casa (downstream), distinto al equipo que está manteniendo la conversación de voz. Ya que lo que se desea, es ver como afecta a la calidad del usuario final un tráfico de red a través del Gateway, independientemente del tipo de equipo del usuario final. De esta forma no se sobrecarga el equipo de medida (usuario final), donde se ejecuta Kapanga, para establecer la llamada de voz, y Vqmonitor, para extraer los parámetros de calidad de voz.

La transmisión de los flujos de voz se realiza con prioridad Real Time.

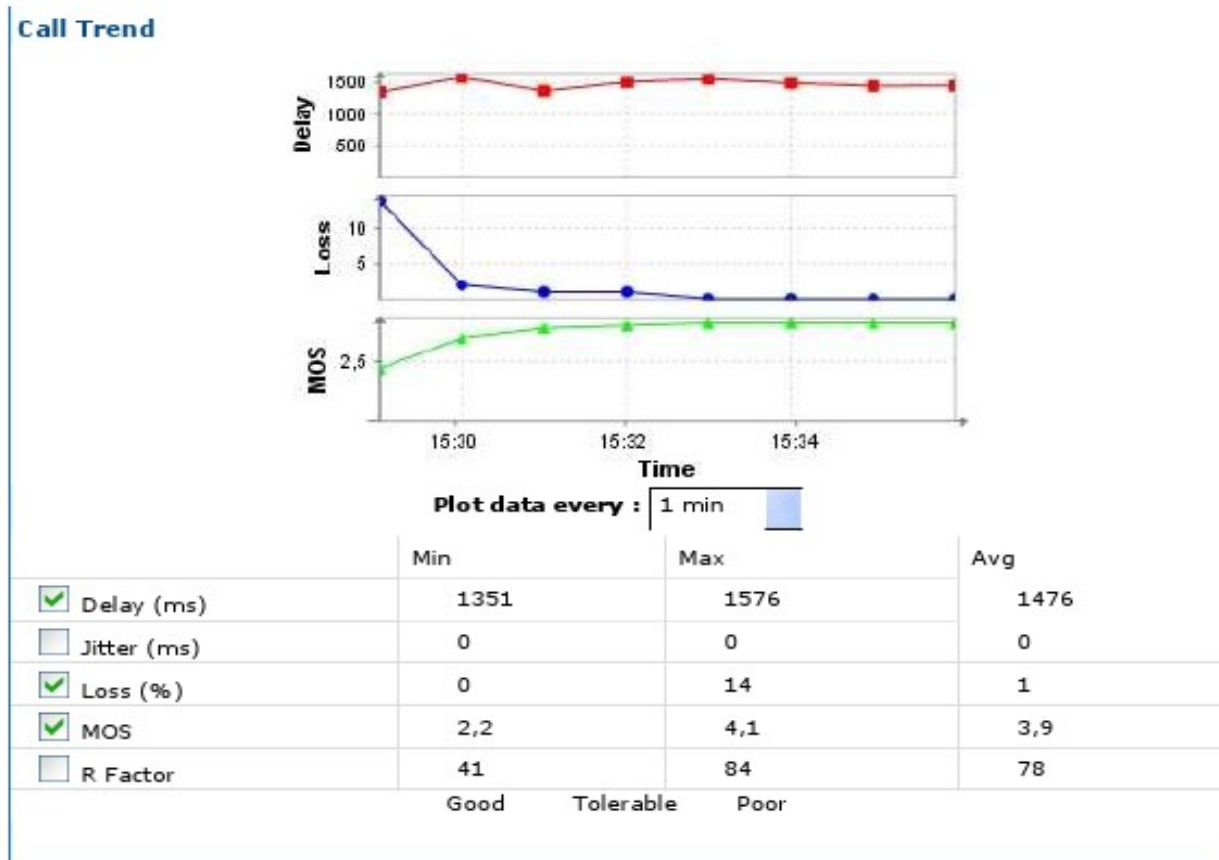
5.4.1 Flujo de audio, sin tráfico adicional en la red.



Se puede observar que el retardo es bastante alto 1,5 segundos, cuando el retardo de los paquetes, como se vio en el apartado de medida de RTT, estaba entorno a los 2 o 3 ms. Esto puede deberse al buffering que hace Kapanga de los distintos flujos de audio.

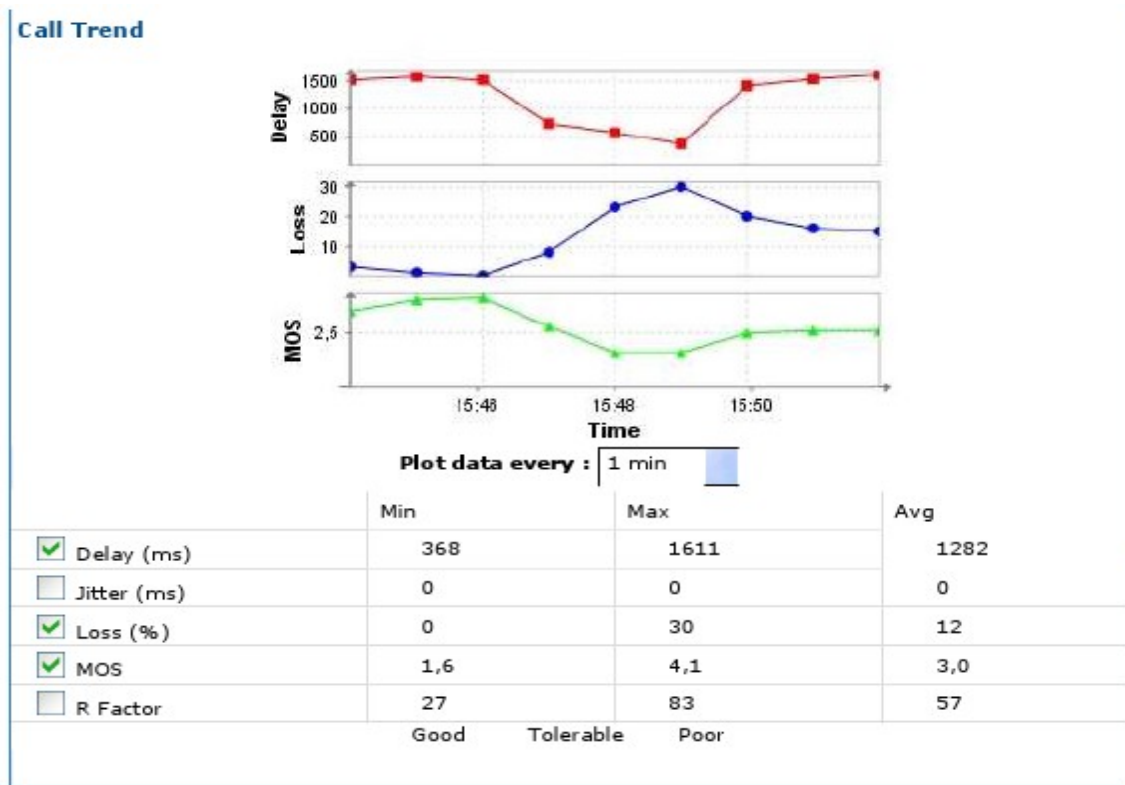
Se puede apreciar que al comienzo de transmisión de los flujos existen unas pérdidas bastante altas, pero una vez que el sistema se estabiliza la MOS se mantiene en un valor aceptable para transmisión de VoIP. Normalmente los valores de las MOS para VoIP suelen variar entre 3,5 y 4,2 por lo tanto en este caso se está muy cerca del valor máximo esperado para VoIP.

5.4.2 Flujo de audio, con 60 Mbits/s de prioridad superior (Low Latency)



Se observa el mismo efecto indeseable al inicio de los flujos, pero una vez estabilizados, la MOS se mantiene en un valor aceptable (4.1). Aunque el tráfico de datos enviados con Iperf es de calidad superior, no afecta al tráfico de audio ya que este tiene una tasa de transmisión muy baja y los 60Mbitsps están muy lejos de los 80Mbitsps que es capaz de cursar la red.

5.4.3 Flujo de audio con flujo de 80Mbps/s 200s de la misma calidad.

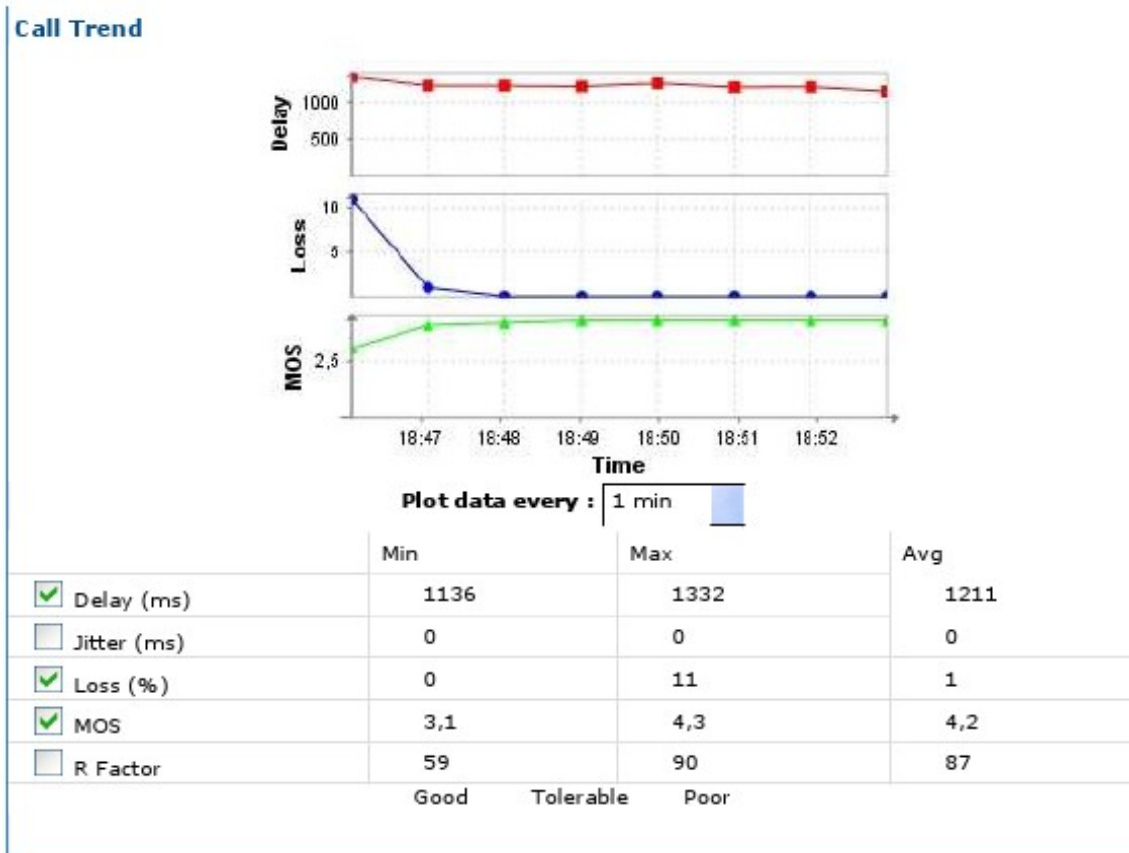


El flujo de 80Mbps/s de datos UDP de paquetes de tamaño 1400bytes es de la misma prioridad que la llamada, por tanto al iniciarse el flujo de 80Mbps/s la calidad y la pérdida de paquetes empeora sensiblemente ya que enviamos por encima de la capacidad de la red. El flujo se envía durante 200s (desde 15:46 a 15:49, aproximadamente) Aunque las pérdidas y la calidad de vídeo comienzan a recuperarse cuando el flujo de 80Mbps/s termina, lo hace muy lentamente, seguramente debido a la forma en que Vqmonitor calcula estos parámetros ya que utiliza además de los paquetes RTP, los RTCP y estos se suelen enviar en intervalos de 2 minutos.

El retardo disminuye mientras se envía el flujo de 80Mbps/s, por el descarte de paquetes (si no se recibe ningún paquete el retardo llega a ser cero, en lugar de infinito)

Con esta prueba queda demostrado que la pérdida de paquetes afecta a la calidad de audio, como cabe esperar.

5.4.4 Flujo de audio con flujo de 80Mbps/s de menor calidad (Elastic)



En este caso observamos unos valores de MOS, pérdidas y retardo muy similares al caso en el que no se envía tráfico adicional de datos, lo que confirma la correcta implementación de las distintas prioridades de servicio, donde un tráfico de prioridad inferior no debe afectar al de prioridad superior.

6 Conclusiones y trabajo futuro

A lo largo del proyecto se ha observado en qué consisten las NGN, los diferentes aspectos que las caracterizan, su estructura y los organismos de estandarización que están trabajando en las mismas.

Una vez analizado el estado actual de las NGN, se ha presentado el objetivo del proyecto, que es, desarrollar una metodología de pruebas de rendimiento sobre NGN. Para ello primero se han presentado los diferentes tipos de pruebas que se pueden realizar sobre una red de comunicaciones y además se han aportado referencias y breves descripciones de recomendaciones que detallan dichas pruebas.

Una vez recopilada toda esta información, se ha fijado el objetivo en pruebas de rendimiento, que puedan ser aplicadas sobre cualquier tipo de topología y tecnología empleada por la NGN y orientadas a los servicios que se han considerado más significativos dentro de las NGN.

Además de definir esta metodología, se ha aplicado la misma sobre un prototipo de red y se han obtenido y analizado los resultados. Se ha descrito el software empleado para la realización de las pruebas, comentando su funcionamiento, ventajas y desventajas, así como las diferentes opciones de configuración empleadas para la realización de las pruebas.

Por último se ha adjuntado una extensa bibliografía con los documentos, artículos y recomendaciones más importantes empleadas.

Aún está lejos el que la estructura y organización de las redes comerciales actuales estén dentro del modelo que plantea NGN. Sin embargo la tendencia es, que las redes comienzan a integrar cada vez más funcionalidades, utilizando diversas tecnologías y protocolos.

Ya es común ofrecer vídeo de alta calidad sobre redes de datos (como Imagenio de Telefónica), aunque sea con la creación de circuitos virtuales y reservando una determinada capacidad de red para la transmisión de esos flujos, con la consiguiente pérdida de eficiencia.

La voz sobre IP es ya una realidad, al igual que video-chats, descarga de vídeos bajo demanda, navegación a través de internet, compartición de archivos, acceso a internet a través de terminales móviles, etc. Todos estos servicios han ido creciendo a partir del servicio básico para el que fue diseñado internet, la navegación y compartición de archivos. Las soluciones para integrar todo esto han sido muy variadas. El concepto de NGN pretende definir una base común donde

todos estos servicios puedan crecer, aprovechando al máximo las capacidades de la red y sin obstaculizarse unos a otros. Además pretende ser una solución que incluya toda la red, desde los nodos centrales hasta la conexión de los usuarios finales.

El concepto de NGN está aún en desarrollo pero existe un esfuerzo y compromiso de los organismos de estandarización por establecer una serie de servicios y estructura comunes.

Es importante que las NGN sean compatibles con las redes actuales y ahí es dónde ETSI está realizando un mayor esfuerzo.

En un escenario tan abierto como el descrito se hace imprescindible el definir una serie de pruebas que permitan:

- A los proveedores de conexión (capa de transporte) monitorizar su red y tomar medidas para su mejora.
- A los proveedores de servicios adecuar sus servicios a la capacidad de la red.
- A los usuarios finales comparar las características de la conexión que les ofrece cada uno de los proveedores de conexión.

Como se ha podido observar a lo largo del desarrollo del proyecto se hace difícil definir una serie de pruebas para cualquier NGN ya que estas incluyen muy diferentes tecnologías de acceso y transporte. Para conseguir esa generalidad las pruebas han de realizarse en los extremos de la red.

Ya que NGN pretende un gran despliegue de nuevos servicios y la entrada de competencia en el sector, es muy recomendable la existencia de transparencia y de una serie de parámetros estándar que puedan comparar tanto los usuarios finales como los proveedores de servicio a la hora de contratar un determinado acceso con cierto proveedor.

En cuanto al funcionamiento de la maqueta y los resultados obtenidos, puede afirmarse que cumple los requisitos necesarios para soportar los nuevos servicios NGN. Siempre teniendo en cuenta que no se ha trabajado con una red completa, ya desplegada, y que lo que se ha probado corresponde al segmento de red que comprende el acceso de un hogar medio a la red, con tecnología 100Mbit Ethernet.

6.1 Trabajo futuro

El conjunto de pruebas a realizar sobre NGN es muy extenso, ya que, como se ha visto a lo largo del proyecto existen muy diferentes tipos de pruebas, dependiendo del objetivo perseguido. Por tanto, se hace imprescindible definir unos objetivos claros de lo que se desea medir, así como fijar unos parámetros que resulten verdaderamente útiles a los destinatarios de dichos resultados, ya se trate de desarrolladores de red y servicios, mantenimiento o usuarios finales. A continuación se van a sugerir algunas medidas que podrían haberse incluido en el proyecto y que van en la línea de las pruebas realizadas, pero que por exceder los objetivos del proyecto no se han llevado a cabo.

Pruebas de rendimiento SIP

Sería muy interesante realizar pruebas de rendimiento contra los servidores encargados de establecer el inicio de sesión, por ejemplo en el caso de la red de laboratorio, servidores SIP. Las pruebas podrían estar orientadas tanto a determinar la capacidad de un servidor en atender peticiones, como de la red a la hora de gestionar el tráfico de señalización. En el ámbito de la voz sobre IP puede utilizarse SIPp [SIPp] o Seagull [SEAG]. Ambos programas permiten definir escenarios de pruebas, de complejidad variable, en los que pueden intervenir diferentes elementos de red. Ya existen iniciativas en las que se testea el número de peticiones que un servidor es capaz de atender de forma simultánea o secuencialmente.

Aquí podrían aprovecharse la numerosa información y modelos recopilados sobre las pautas del tráfico de llamadas analógicas. Aunque habría que tener en cuenta que las NGN no sólo proponen integrar los servicios tradicionales dentro de una misma red, sino que además favorecerán la aparición de nuevos servicios que impondrán nuevos modelos de llamadas.

Pruebas de calidad de videoconferencia.

Otro punto muy destacable sería realizar pruebas de calidad de videoconferencia, que aunque no es más que el agregado de vídeo y audio, existen diversos efectos que sólo sería posible detectar en su transmisión conjunta, como puede ser el desincronismo entre señales, con las molestias que ello acarrea.

Pruebas de calidad de vídeo de alta definición.

Con el actual generalización de formato de vídeo de alta definición HDTV (High Definition TeleVision, 1920 pixels \times 1080 líneas o 1280 píxeles \times 720 líneas) y las altas capacidades de red (1Gbit-Ethernet, 100Mbit-Ethernet, etc.), se hace imposible pensar que las

NGN no soporten transmisión de HDTV. Por tanto, también sería muy interesante realizar pruebas de con estos tipos de vídeo, ya que verdaderamente requiere una gran cantidad de recursos de red, cerca de 20Mbits/s con compresión MPEG4. Aunque los efectos indeseados que puedan surgir en el mismo dependen también de los codecs utilizados, se ve muy afectado tanto por la pérdida de paquetes, como por el retardo y el jitter.

En este proyecto no se han analizado dichos vídeos porque los desarrolladores de VQM comentan que no han probado dicho software con vídeos de calidad superior a PAL. Además VQM analiza el vídeo sin ningún tipo de compresión, o muy poca (UYVY) y el tamaño ocupado por dichos vídeos, así como el tiempo requerido para su procesado, se disparan.

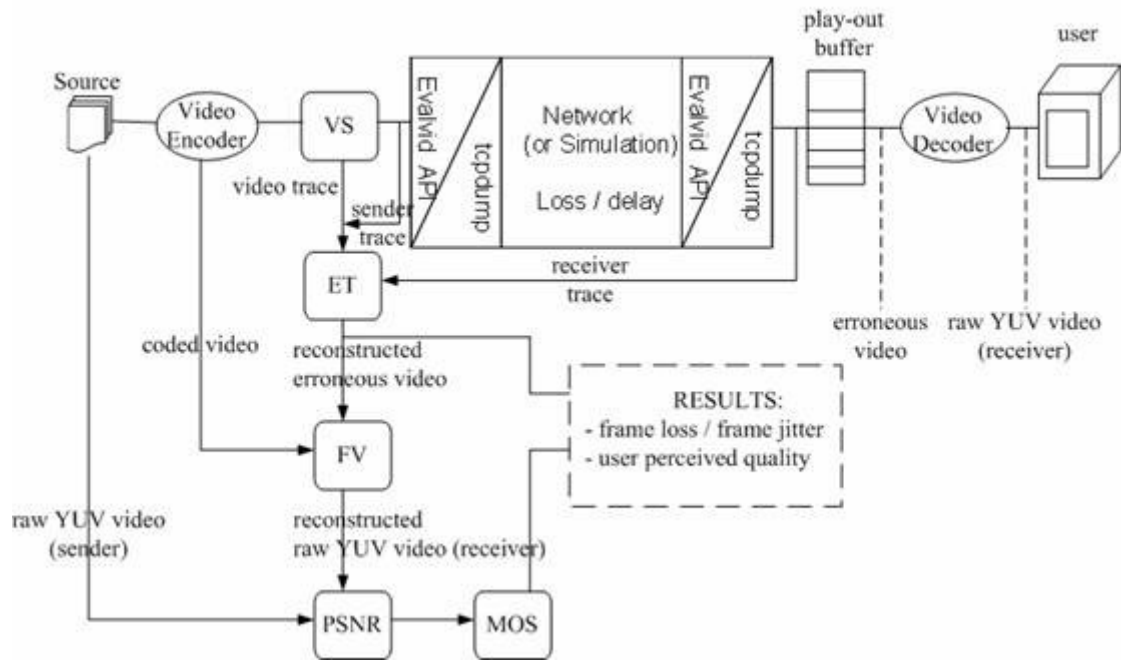
Estas pruebas podrían realizarse con otro tipo de software más avanzado. VQM tiene versiones más completas del programa, como BVQM, que permiten utilizar formatos HDTV, pero ya no se trata de software para el que se pueda obtener una licencia gratuita.

EvalVid

Otra opción es utilizar otro tipo de software como por ejemplo “EvalVid” [EVLVD], que en lugar de utilizar el vídeo original y el transmitido sin codificar, únicamente necesita unas trazas de los paquetes enviados y recibidos para evaluar la calidad del vídeo, de forma semejante a como se evalúa la calidad de voz en el “Modelo E” para la VoIP.

Tanto en el emisor como en el receptor se almacenan unas trazas con los identificadores de paquete, tamaño y tiempo de envío. Una vez terminada la transmisión, en el emisor con la traza del receptor se reconstruye el posible vídeo siguiendo un determinado algoritmo y se evalúa la calidad según el modelo PSNR, a partir de esa medida se obtiene también una medida MOS.

La principal ventaja de este programa es que resulta muy ligero, al no utilizar imágenes para evaluar la calidad. El problema es que no resulta tan preciso como VQM, y pueden quedar muchos efectos indeseados del vídeo sin evaluar, como por ejemplos efectos debidos a la codificación. Por tanto, no es el software más apropiado para vídeos de alta calidad, aunque si puede utilizarse como una primera aproximación o para evaluar la calidad de videoconferencia donde se asume que la calidad de imagen no es muy buena.



Pruebas de rendimiento sobre redes de acceso inalámbrico.

Quizá uno de los aspectos que más se hecha en falta en este proyecto es la ausencia de pruebas sobre redes de acceso radio. Y aunque estas son muy diferentes según la tecnología (WI-FI, Wimax, UMTS...), sería de gran utilidad tanto para los usuarios finales como para los proveedores de servicios conocer los rendimientos alcanzados por los servicios propios de NGN sobre estos medios de acceso y poder comparar los diferentes parámetros con los obtenidos en redes cableadas.

Todo el software utilizado en el proyecto puede utilizarse también para evaluar la calidad en redes wireless, al tratarse de pruebas extremo a extremo.

7 Anexo: Descripción del software utilizado

A continuación se describe el software utilizado para la realización de las pruebas y los aspectos más relevantes a tener en cuenta.

7.1 Iperf

Iperf [IPERF] es una herramienta de libre distribución que puede ser utilizada para realizar pruebas de rendimiento sobre redes IP.

Iperf puede generar tráfico TCP o UDP. Parámetros interesantes, para su estudio en el presente proyecto, mostrados por Iperf son: “jitter”, ancho de banda y tasa de paquetes perdidos.

Iperf funciona enviando tráfico desde un servidor a un cliente. Por ejemplo para realizar pruebas en sentido “downstream”, se tendría un servidor Iperf ejecutando en un equipo de uno de los hogares y un cliente Iperf ejecutándose en un servidor. El cliente Iperf envía tráfico al servidor Iperf.

Iperf detecta pérdidas de paquetes basándose en el identificador de datagrama UDP, por tanto para detectar la pérdida de paquetes se deben enviar datagramas UDP que quepan en un único paquete IP es decir inferiores a la MTU de la red, para que no se realice fragmentación de dichos datagramas. La MTU de la red en el lado del servidor (que es una red normal, sin calidad de servicio) está limitada a 1480 bytes. Se ha limitado a esta cantidad porque la clasificación de los diferentes flujos en distintas calidades se hace añadiendo una cabecera VLAN a la trama Ethernet. Por tanto, si se enviasen tramas Ethernet de 1500 bytes, al añadirle la cabecera VLAN excedería esta longitud y las tramas serían descartadas por la tarjeta de red. Cuando se realicen pruebas con tamaños de paquete grandes se enviarán datagramas de 1400 bytes. Enviar datagramas más pequeños puede reducir el ancho de banda efectivo, pero asumimos que 1400 bytes (podrían enviarse hasta 1452 bytes) es lo suficientemente grande como para que este efecto sea despreciable.

Respecto a posibles paquetes desordenados, Iperf asume que no son paquetes duplicados y no se incluyen en la cuenta de paquetes perdidos.

Para calcular el Jitter Iperf utiliza el protocolo RTP y sigue las indicaciones de la RFC 1889 [RFC1889]. El cliente marca los datagramas RTP con una marca de tiempo de 64bits. El

servidor obtiene el tiempo de tránsito (tt) como tiempo de recepción (tr) – tiempo en que envió el cliente (ts):

$$tt = tr - ts$$

El servidor y el cliente no necesitan estar sincronizados ya que el Jitter es una media suavizada de la diferencia entre tiempos de tránsito (tt) consecutivos.

Las medidas con Iperf se van a realizar bajo el sistema operativo Linux, ya que Windows no permite una precisión mayor de milisegundos a la hora de manejar tiempos de reloj.

Iperf se ejecuta por línea de comandos y tiene varias opciones que resultan interesantes a la hora de realizar las pruebas:

- -i : Establece el intervalo entre cada muestra del jitter. En este caso se utilizará un intervalo de 1s. El ITU recomienda tomar medidas en intervalos de 1 minuto, y utilizar el valor medio del valor medido durante ese minuto.
- -l : Para establecer el tamaño de los paquetes que se quieren enviar. Es el tamaño de datos UDP o TCP, sin incluir la cabecera. Por tanto el máximo tamaño UDP que se puede especificar sin que exista fragmentación es 1452 (que con 20 bytes de cabecera VLAN más 28 bytes de cabeceras Ethernet+IP+UDP hacen los 1500 bytes de la MTU de Ethernet).
- -u : Para especificar que se quiere establecer una conexión UDP. Si no se pone nada se asume TCP.
- -p : Número de puerto al que se quiere conectar (si es un cliente) o en el que se quiere escuchar (si es un servidor).
- -s : Para lanzar Iperf en modo servidor.
- -c : Para lanzar Iperf en modo cliente, es necesario indicar la dirección IP a la que debe conectarse.
- -S : Type of Service (TOS), permite especificar el valor del campo TOS de la cabecera IP. Se puede especificar en hexadecimal, octal o decimal. Este campo es importante para especificar al PAN que marque con una determinada prioridad los paquetes con un determinado TOS en sentido downstream.
- -T : Time to Live (TTL), permite especificar el campo TTL de la cabecera IP.
- -t : Tiempo durante el que se envía tráfico.
- -b : Ancho de banda. En UDP se puede especificar el ancho de banda de datos UDP que se desea enviar. Por defecto envía 1Mbit/s.

7.2 Ping

Ping [PING] es un programa de libre distribución, tanto para Windows como Linux, que es frecuentemente utilizado para testear la conectividad entre dos puntos de red. Ping actúa enviando mensajes ICMP “Echo Request” a una determinada dirección y esperando la respuesta “Echo Reply”. A la vez que se comprueba la conectividad entre dos puntos de red se puede obtener el tiempo de ida y vuelta (RTT o tiempo de vuelo).

Ping se ejecuta por línea de comandos y algunas opciones interesantes para este caso son:

- -s : Para indicar el tamaño de datos ICMP en bytes, la cabecera Ethernet+IP+ICMP tiene el mismo tamaño que la cabecera Ethernet+IP+UDP, 28 bytes.
- -i : Intervalo de tiempo entre envío de paquetes. Con esta opción y la anterior se puede establecer el ancho de banda de datos a enviar.

Ping se va a utilizar para medir el RTT. Al finalizar su ejecución ofrece un informe con el RTT mínimo, en media, máximo y su desviación típica.

7.3 VQM

Se puede obtener una licencia gratuita de seis meses de duración solicitándola al Institute for Telecommunication Science (ITS) [VQMTR]. VQM implementa el algoritmo expuesto en la NTIA report 02-392 (EEUU) que ha sido adoptado como estándar ANSI (T1.801.03-203) e incluido en dos recomendaciones del ITU, ITU-T J.144R e ITU-R BT.1683.

Existe una versión de VQM para Windows y otra para Linux. En este caso se trabajará con Windows.

Las medidas que ofrece VQM ya han sido descritas en el apartado 3.3.1.

VQM compara un video original de referencia con ese mismo vídeo después de haber sufrido algún tipo de procesado, ya sea transmisión por algún canal de comunicación, o codificación-compresión decodificación-descompresión.

Además del software necesario para comparar el vídeo original con el transmitido por la red, son necesarias otras herramientas para enviar el video, recibirlo y volcarlo a un fichero y transformarlo o decodificarlo a algún formato reconocido por VQM.

VQM sólo admite vídeos sin codificar en formato RGB24, YUY2, YUV12 o codificados en UYVY. En las pruebas realizadas se ha trabajado siempre con RGB24.

Para transmitir y recibir los vídeos se va a utilizar el programa “VLC media player”, que envía el vídeo, en formato MPEG4 y contenedor MPEG-TS, a través de una conexión UDP. En recepción se vuelca el vídeo a un fichero y queda almacenado con las posibles alteraciones sufridas en su transmisión.

Una vez que se dispone del vídeo original y el transmitido en contenedores MPEG-TS y comprimidos MPEG4, es necesario descomprimirlos a RGB24 y contenedor AVI. Para ello se utilizarán los programas “Media Coder” y “Virtual Dub”.

Normalmente no es posible disponer de los vídeos en el formato de transmisión UDP de VLC. Para transformarlos se ha utilizado “Media Coder” y “Virtual Dub”.

Los vídeos están formados por un único stream de vídeo, no llevan sonido.

7.3.1 Análisis de vídeo con VQM

Ahora se va explicar como funciona el programa VQM y sus distintas opciones de configuración, que por otro lado es bastante simple como puede apreciarse en la Figura 18.

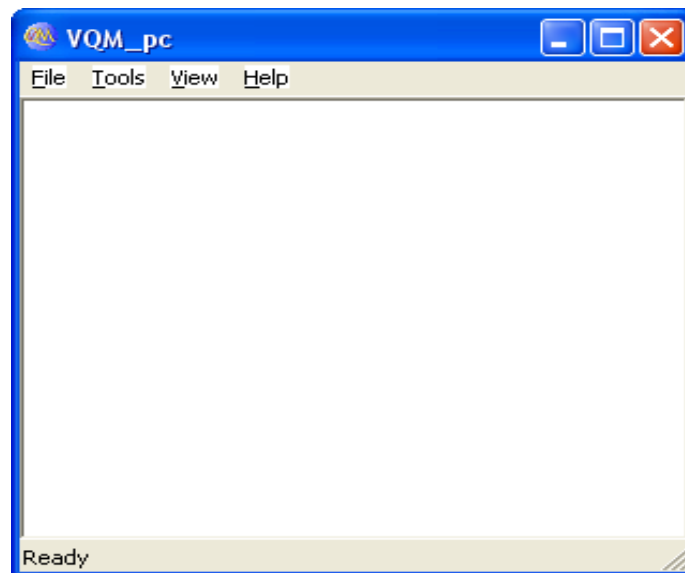


Figura 18: Ventana inicial de VQM

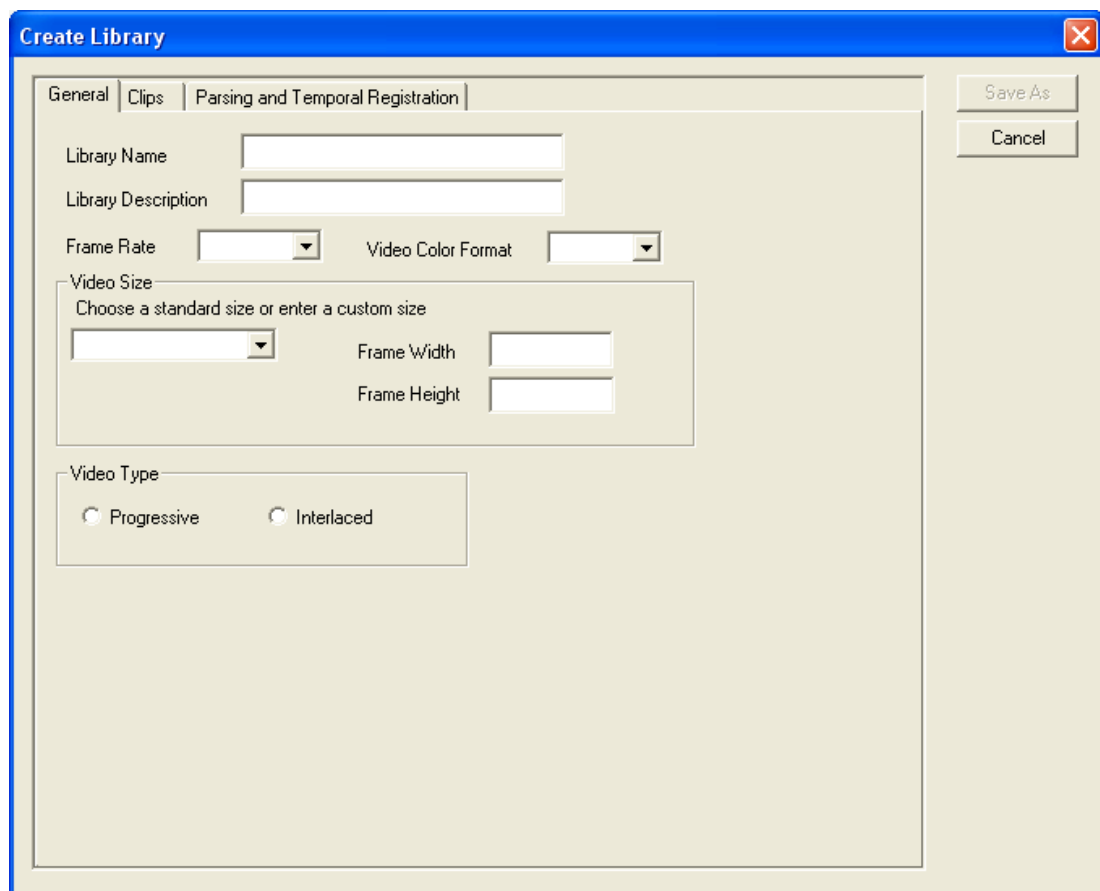


Figura 19: Ventana de new Library

- 1) Lo primero es establecer el directorio de trabajo, para ello pulsamos en: File→Options y se abrirá una nueva ventana ahí en “Default Working Directory” escribimos la ruta del directorio donde se encuentran los dos vídeos en formato RGB24 (original y volcado) a comparar. Es recomendable que ese directorio sólo contenga los dos vídeos, ya que VQM generará otros ficheros en el proceso de análisis y calibración, además de los ficheros con el resultado de los análisis. Los otros campos de esta ventana se pueden dejar como están.

- 2) Ahora se puede definir una nueva librería. Para ello: File→new→Library. Aparecerá una ventana como la de la Figura 19:

En la pestaña “General” se rellenan los diferentes campos, que serán específicos para cada vídeo.

En este proyecto se ha trabajado con: “Frame Rate” de 25fps y 30fps, “Video Color Format” RGB24, “Video Size” PAL (120x576) y CIF (352x288), “Video Type” Interlaced.

- 3) En la pestaña “Clips” se añade la ruta del video original y del volcado. En la pestaña “Parsing and Temporal Registration” se dejan las opciones por defecto y se pulsa sobre “Save As”, por defecto se guardará con el nombre especificado en la pestaña

- “General” y en el directorio de trabajo, especificado en el paso 1)
- 4) Se crea un nuevo HRC (Hypothetical Reference Circuit), File→new→HRC. Aparece una ventana como la de la Figura 20. Se le da el nombre y la descripción que corresponda y en “Expected Video Quality” se elige la opción más apropiada. En este proyecto se ha utilizado “Television Quality”, que es el modelo que más parámetros tiene en cuenta a la hora de realizar el análisis de los vídeos, esto hace que el análisis sea más lento. El HRC se utiliza para establecer las opciones por defecto del registro temporal durante la calibración de los vídeos.

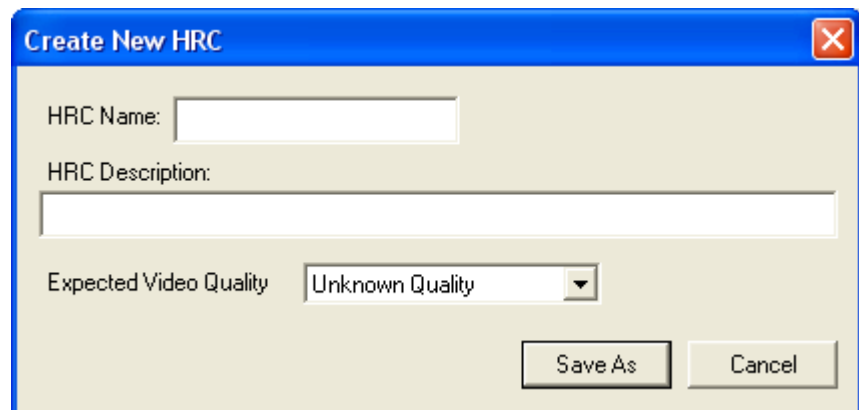


Figura 20: Ventana para crear un nuevo HRC

- 5) Se crea un nuevo test: File→new→Test. Aparece una ventana como la de Figura 21. Se añaden la librería y el HRC correspondiente y se pulsa sobre siguiente.

Library & HRC

Library Information

Name:

Description:

Clips: Total Duration: ☐ Interlaced ☐ Progressive

Frame Width: Frame Height: Frame Rate:

Color Bar:

Gray Frame:

Working Dir:

HRC Information

Name:

Description:

Expected Video Quality:

Figura 21: Ventana para la creación de un nuevo test

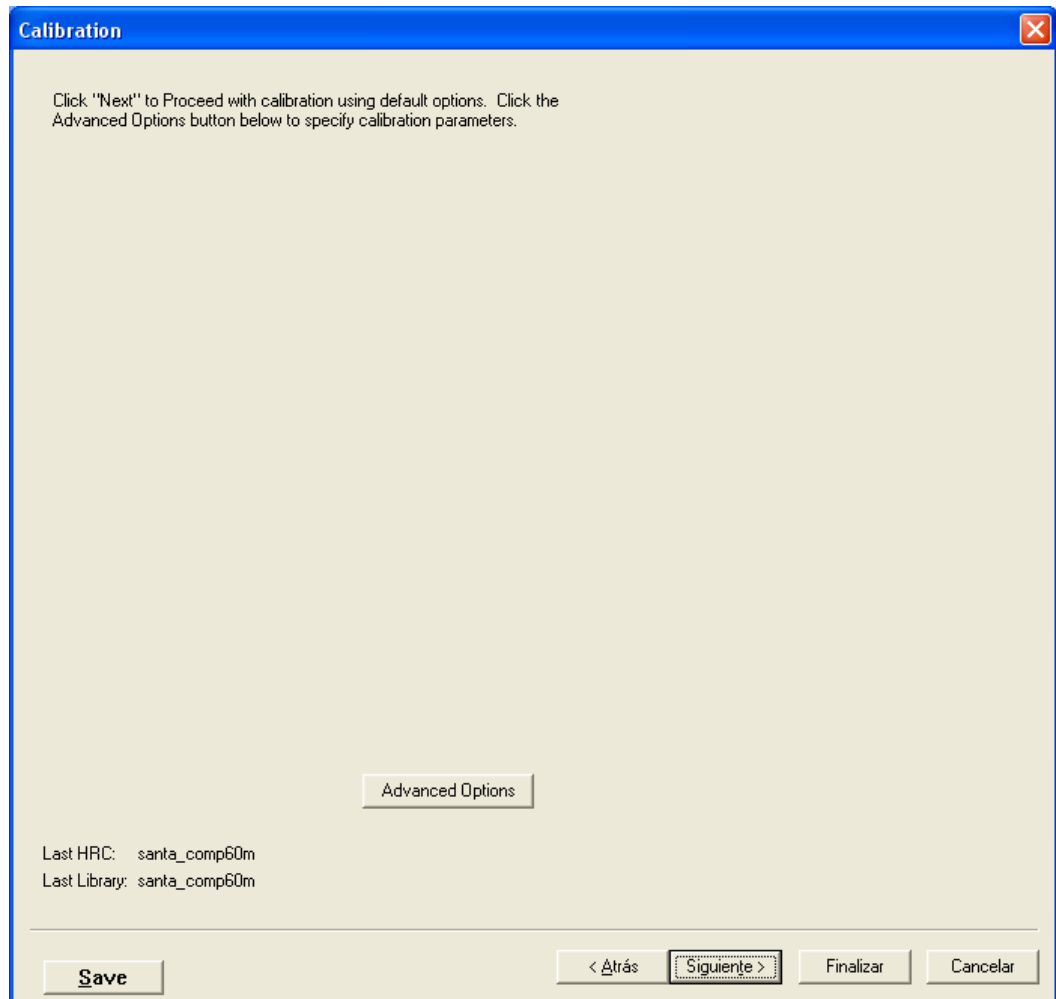


Figura 22: Generando un nuevo test

- 6) Aparece una ventana como la de Figura 22. Aquí se pulsa en el botón “Advanced Options”. Se abre una nueva ventana y en “Spatial registration” se elije manual, ya que por defecto VQM no analiza los bordes de la imagen. En un paso posterior será cuando se solicite introducir el área de la la imagen que se tendrá en cuenta para analizar la calidad de la imagen. El resto de parámetros se quedan como estaban. Pulsando sobre “OK” se cierra la ventana y volvemos a la ventana de Figura 22 y se pulsa sobre “Siguiete”.

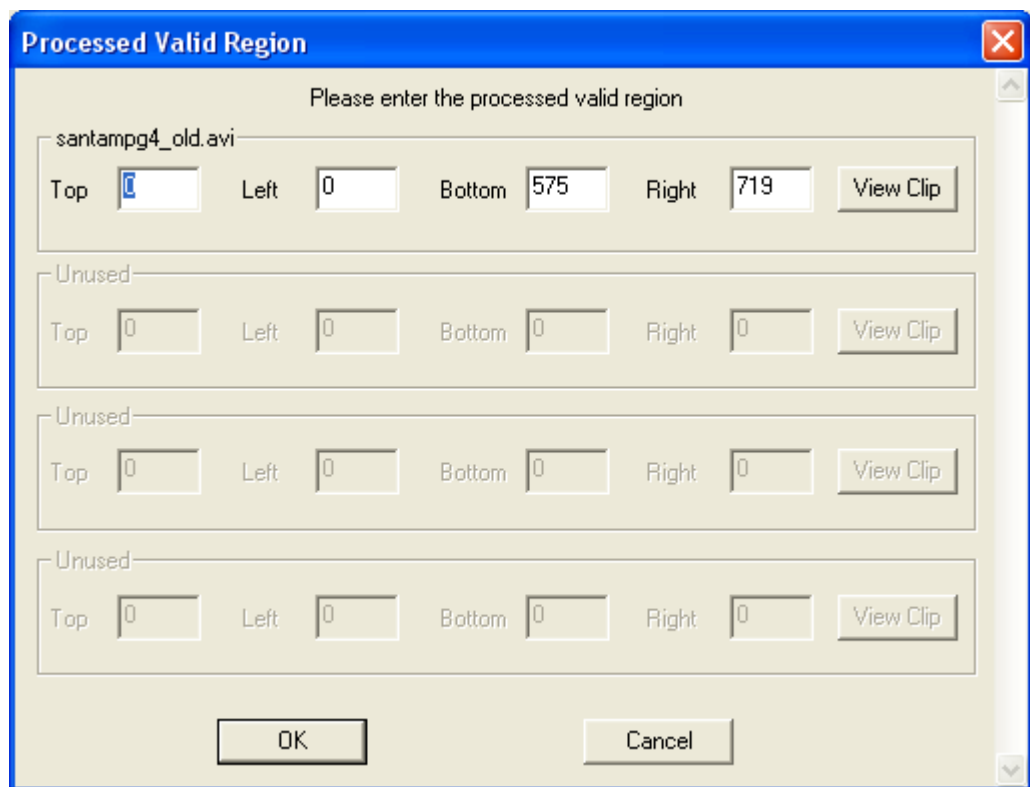


Figura 23: Introducir área de imagen a tener en cuenta a la hora de obtener la medida de calidad de vídeo.

- 7) Aparece una ventana como la de Figura 23. Se introduce el área deseada. En se ha introducido todo el área de imagen para un tamaño PAL. Una vez introducida el área se pulsa sobre “OK” y en la siguiente ventana sobre “Siguiente”.
- 8) Así, pulsando sobre “Siguiente” sin cambiar ninguna de las opciones que aparecen por defecto, llegamos a una ventana como la de Figura 24. Aquí se elige el modelo a utilizar para el análisis. En este proyecto se ha utilizado el modelo “Television”, que es el que más parámetros analiza para comprobar la posible degradación, perceptible por el ojo humano, del vídeo. También se ha utilizado la “PSNR” que da una medida de la diferencia entre el vídeo original y el transmitido.

Aquí es también donde se elige la escala en que se desea representar la medida de calidad del vídeo. En este proyecto como se ha comentado anteriormente se han utilizado dos escalas: la “Double Stimulus Impairment Scale” (de 1 a 5) y “None” (de 0 a 1). “None” representa el resultado en la métrica VQM (Video Quality Metric).

Se pulsa sobre “Siguiente”, aparece otra ventana en la que no hay que introducir cambios, se pulsa sobre “Siguiente” y llegamos finalmente a una ventana donde se muestra el resultado de la medida de calidad

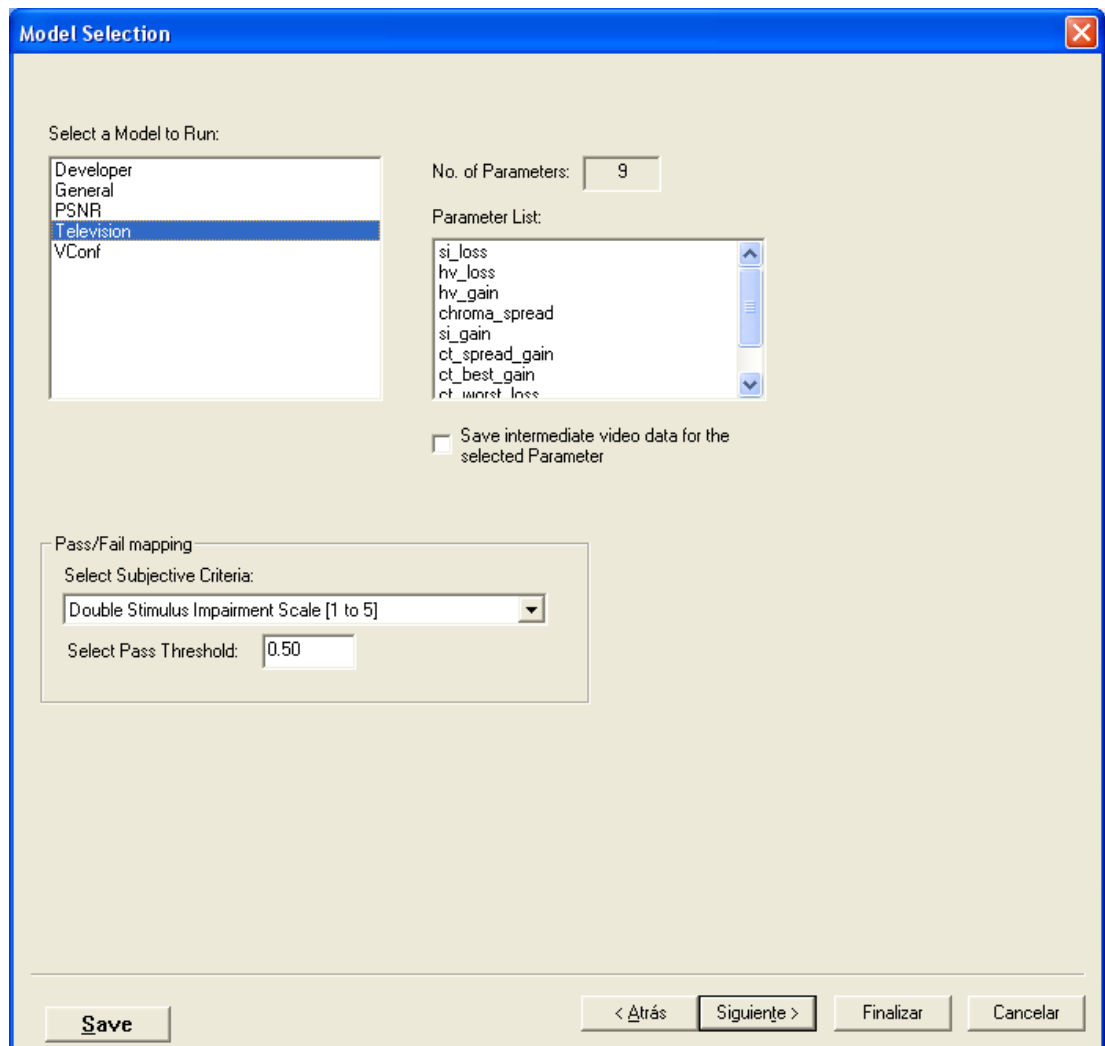


Figura 24: Elección del modelo a aplicar para la medida de la calidad de video

- 9) Finalmente visualizamos el resultado de la medida de calidad, Figura 25. Pinchando sobre “Report...” se puede salvar el resultado a un fichero de texto.

The screenshot shows a 'Test Results' window with the following sections:

- Results:**
 - Model Used: Result:
 - Mapped: Mapping Scale: None [0 to 1]
 - VQM Score: Unmapped:
 - Buttons: Details..., Report...
- Test Details:**
 - Library Used: Library Details...
 - HRC Used: HRC Details...
 - Calibration Done: Calibration Details...
- Root Cause Analysis:**
 - Root Cause Analysis
 - Blurring = 0%
 - Jerky or Unnatural Motion = 14%
 - Global Noise = 0%
 - Block Distortion = 45%
 - Error Blocks = 11%
- Footer:**
 - Buttons: Save, < Atrás, Siguiente >, Finalizar, Cancelar

Figura 25: Resultado de la medida de calidad de vídeo

7.4 VLC

VLC es un programa de libre distribución tanto para Linux como para Windows y que se puede utilizar para reproducir archivos de vídeo y audio, reproducir vídeos volcados a través de la red, volcar vídeos a la red, etc.

En este proyecto VLC se va a utilizar como **servidor de vídeo**. VLC está instalado en uno de los servidores Linux, y envía vídeo a un determinado cliente. En este caso se lanza VLC por línea de comandos y de forma que el vídeo no se muestre en el equipo local (servidor Linux) y no sea necesario ejecutar la interfaz gráfica en dicho equipo. Para ello se ejecuta el

siguiente comando:

```
vlc -I dummy <archivo de vídeo> --sout udp:10.1.2.48:1232 --ttl 12
```

De esta forma se envía el vídeo por UDP a la dirección 10.1.0.47 que es la dirección pública de una de las casas. Se envía al puerto 1232 para que el PAN lo marque con prioridad “Real Time” y cambie el puerto a 1234.

La opción “-I dummy” es para que no se reproduzca el vídeo localmente y no se lance la interfaz gráfica del programa.

Además VLC se va a utilizar para recibir vídeo enviado por el servidor y reproducirlo o bien volcarlo a un fichero. Concretamente, para las pruebas de vídeo se va a utilizar VLC para volcar el vídeo recibido a un fichero, sin que haya ningún tipo de transcodificación del vídeo. En este caso se trabaja con equipos Windows, que es lo más común en un hogar cualquiera, además, es más cómodo trabajar con Windows por todo el software adicional, requerido para la transformación de vídeos al formato de VQM.

7.4.1 Pasos para realizar el volcado de vídeo con VLC

- 1) Se abre el programa en modo gráfico Figura 26, se pulsa sobre “Archivo: F” y se selecciona “Abrir Volcado de Red...N”

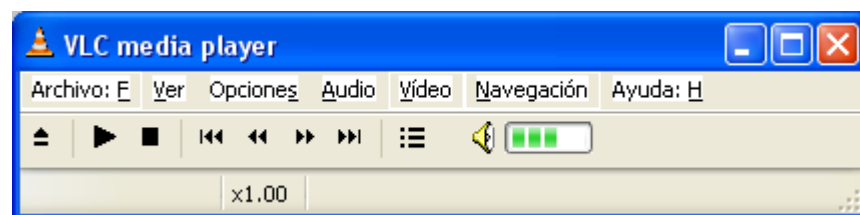


Figura 26: Ventana inicial de VLC

- 2) Una vez abierta la ventana de “Volcado de Red” Figura 27. Se selecciona “UDP/RTP” y el puerto a utilizar, en este caso será el 1234. En “Opciones avanzadas” se selecciona “Volcado/Salvar” y pulsando en “Opciones...” se abrirá una nueva ventana Figura 28 para configurar el volcado.

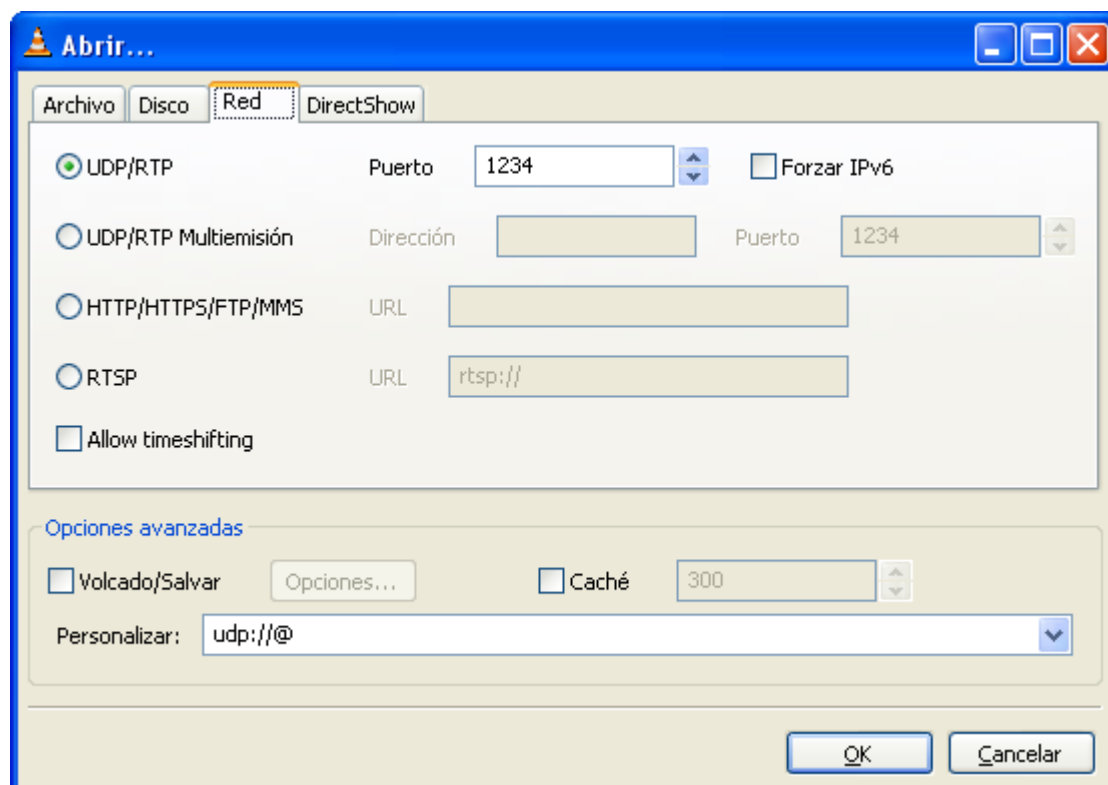


Figura 27: Ventana de VLC para Volcado de Red

Volcado de salida

Salida de volcado MRL

Objetivo: :sout=#duplicate{dst=std{access=file,mux=ts,dst=""}}

Salidas

☐ Reproducir localmente

☒ Archivo Nombre de archivo: [] Explorar... ☐ Entrada de volcado raw

☐ HTTP Dirección: [] Puerto: 1234

☐ MMSH Dirección: [] Puerto: 1234

☐ RTP Dirección: [] Puerto: 1234

☐ UDP Dirección: [] Puerto: 1234

Método de Encapsulamiento

☒ MPEG TS ☐ MPEG PS ☐ MPEG 1 ☐ Ogg ☐ ASF ☐ MP4 ☐ MOV ☐ WAV ☐ Raw

Opciones de transcodificación

☐ Códec de vídeo mp4v Tasa de bits (kb/s): 1024 Escala: 1

☐ Códec de audio mpga Tasa de bits (kb/s): 192 Canales: 2

☐ Códec de subtítulos dvbs ☐ Superposición de subtítulos

Miscelánea

☐ Anuncio de SAP Nombre de grupo: [] Nombre de canal: []

☐ Elige todo volcado elemental Tiempo de vida (TTL): []

OK Cancelar

Figura 28: Ventana de opciones de Volcado/Salvar

- 3) En la ventana de configuración de volcado Figura 28, en el apartado “Salidas”, se selecciona “Archivo”, en el campo “Nombre de archivo” se introduce el nombre y la ruta donde se desea guardar el volcado de red. Finalmente se selecciona el campo “Entrada de volcado raw”, al seleccionar este campo, no se puede reproducir el video localmente, a la vez que se guarda en un fichero. Para ver el vídeo y a la vez guardarlo en fichero es necesario seleccionar en el campo “Salidas”: “Reproducir localmente” y “Archivo”; y en el campo “Método de Encapsulamiento”: “MPEG TS”

Con esto, ya queda el vídeo transmitido con compresión MPEG4 y contenedor MPEG-TS guardado en un fichero en ese mismo formato.

VLC no puede enviar vídeo por la red en cualquier formato, por ejemplo para enviar vídeo por una conexión UDP, el vídeo debe estar en un contenedor MPEG-TS, una tabla con las diferentes compatibilidades se puede encontrar en [VLCSTR] . Cuando VLC envía un vídeo que no está en el formato adecuado él mismo lo transcodifica y lo envía por la red. Este último es un detalle muy a tener en cuenta para las pruebas de calidad de vídeo, no es conveniente que VLC haga esa transcodificación porque el video podría perder calidad en el proceso. En este proyecto sólo se está interesado en evaluar la degradación al transmitirse por la red y no en la degradación debida a la codificación del mismo.

Para tener los vídeos codificados en MPEG4 y dentro de un contenedor MPEG-TS se va a utilizar VLC. Si tenemos los archivos de vídeo codificados XVID y dentro de un contenedor AVI, podemos abrir con VLC ese archivo “Archivo:F→Abrir Archivo...:F”. En la ventana que aparece se escribe la ruta y el nombre del archivo que se desea abrir, se selecciona “Volcado/Salvar” y se abre una ventana como la de la figura , ahí se selecciona “Archivo”, en el campo correspondiente se escribe la ruta y el nombre del archivo donde se desea guardar el vídeo transcodificado, y finalmente se selecciona el método de encapsulamiento MPEG-TS. VLC realiza automáticamente la transcodificación de XVID a MPEG4. No todas las transcodificaciones son posibles, en este proyecto sólo se ha tratado con XVID.

7.5 Media Coder

“Media Coder” es un programa de libre distribución para Windows, que se puede utilizar para codificar vídeos con un determinado codec y almacenarlo en diferentes contenedores. Es un programa muy potente y con muchas opciones pero para este proyecto sólo son interesantes algunas de sus opciones.

Se va a utilizar para:

- Pasar secuencia de vídeo codificada h264 a XVID en contenedor AVI.
- Pasar vídeo MPEG4 en contenedor MPEG-TS a codificación Huffuyv (sin pérdidas) y contenedor AVI:

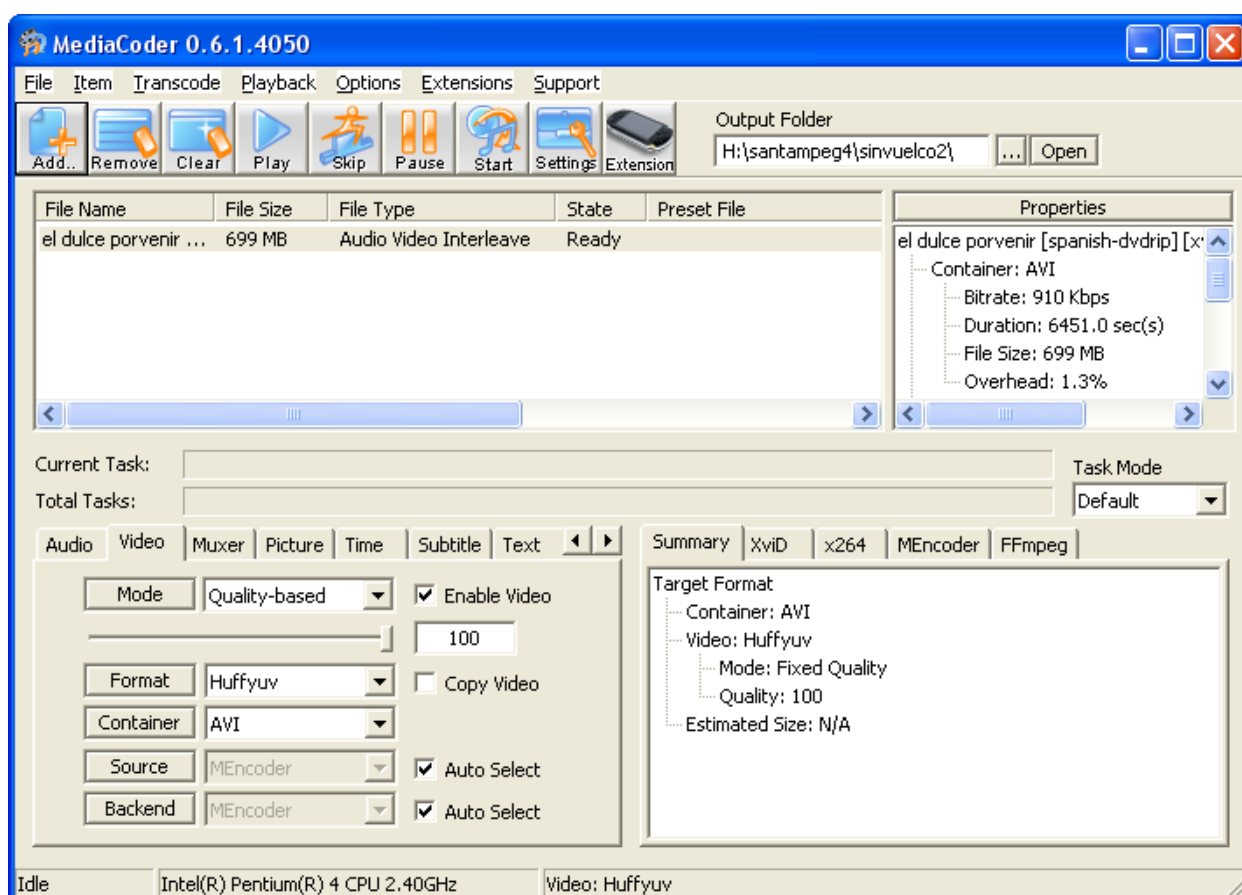


Figura 29: Interfaz de Media coder

Para ello se abre el fichero de vídeo original “File→Add File” y con el navegador de archivos se añade el fichero de vídeo. En la pestaña “Video” se selecciona “Enable Video”. En este proyecto se ha trabajado siempre con “Quality-based” y el valor 100, para que las codificaciones sean siempre sin pérdidas. En “Format” se selecciona el codec que deseemos y en “Container” el contenedor. “Source” y “Backend” se dejan en “Auto Select”.

En la pestaña de “Audio” se deselecciona la casilla “Enable audio”. Ya que los archivos con los que se va a tratar contienen un único “Stream” de vídeo.

En la pestaña “Picture” hay que poner “Crop” en “Disabled”, para que no recorte la imagen. Y en “Frame Rate” la que coincida con la del vídeo que se está tratando, que se puede observar en el área “Properties”, donde se ven todas las características del vídeo actual.

En el campo “output folder” se especifica donde guardará “Media Coder” el archivo transcodificado.

Una vez seleccionados todos los parámetros de conversión, en la pestaña “Summary” aparecerá el tipo de archivo al que se va a convertir el vídeo. Se comprueba que sea correcto,

por ejemplo en Figura 29 se va a codificar el vídeo con Huffvuv y se va a meter en un contenedor AVI. Para realizar la conversión se pulsa en el botón “Start”.

Como se puede observar en Figura 29 existen multitud de opciones de conversión de vídeo. Pero con dejar el resto en la opción por defecto suele ser suficiente.

7.6 Virtual Dub



Figura 30: Interfaz gráfica de Virtual Dub

Virtual Dub es un programa de libre distribución, para Windows, que puede utilizarse para la conversión y tratamiento de vídeo. En este proyecto se utilizarán únicamente algunas de sus funcionalidades, entre ellas descompresión de vídeo en RGB24 y recorte y unión de vídeos, que resulta muy fácil e intuitivo con este programa.

Este programa no acepta vídeos comprimidos con cualquier códec. En este caso los vídeos de entrada con los que se ha trabajado estaban comprimidos con “XVID” o bien con “huffyuv” (que es un formato de compresión sin pérdidas).

7.6.1 Recortar vídeos

Recortar vídeos es muy sencillo únicamente hay que seleccionar con el cursor y la barra que aparecen en la parte inferior las frames que se desean descartar. Y una vez seleccionadas las frames se borran.

Para seleccionar la frame de inicio a recortar se posiciona el cursor en el lugar de inicio de corte y después “Edit→Set selection start”. Después se mueve el cursor a la última frame que se desea borrar y se pulsa “Edit→Set selection end”. Finalmente se pulsa “Edit→Delete” se borran las frames seleccionadas. Al desplazar el cursor por la barra de las frames estas se van mostrando en la pantalla y es muy sencillo visualizar el punto exacto donde se desea cortar. Además abriendo dos instancias del mismo programa se pueden comparar dos vídeos frame a frame.

7.6.2 Concatenar segmentos de vídeo

Para hacer esto además de que el vídeo utilice un codec apropiado, es necesario que esté dentro de un contenedor AVI.

En este proyecto esta funcionalidad se ha utilizado únicamente para alargar aquellos vídeos que resultaban demasiado cortos, concatenando varias veces el mismo vídeo como si se repitiera en un bucle. Para ello simplemente se pulsa “File→Append avi segment” y en la ventana de navegación de carpetas que aparece se selecciona el vídeo que se quiere concatenar, que puede ser el mismo vídeo.

7.6.2.1 Descomprimir vídeo en formato RGB24

Para hacer esto, únicamente hay que salvar el vídeo como “old format avi”. “File→Save old format avi”.

También se pueden seleccionar otros codecs pinchando en “Video→Compression...” se nos abrirá una ventana como la que aparece en la en la Figura 31, ahí podemos seleccionar el codec deseado y los parámetros del mismo.

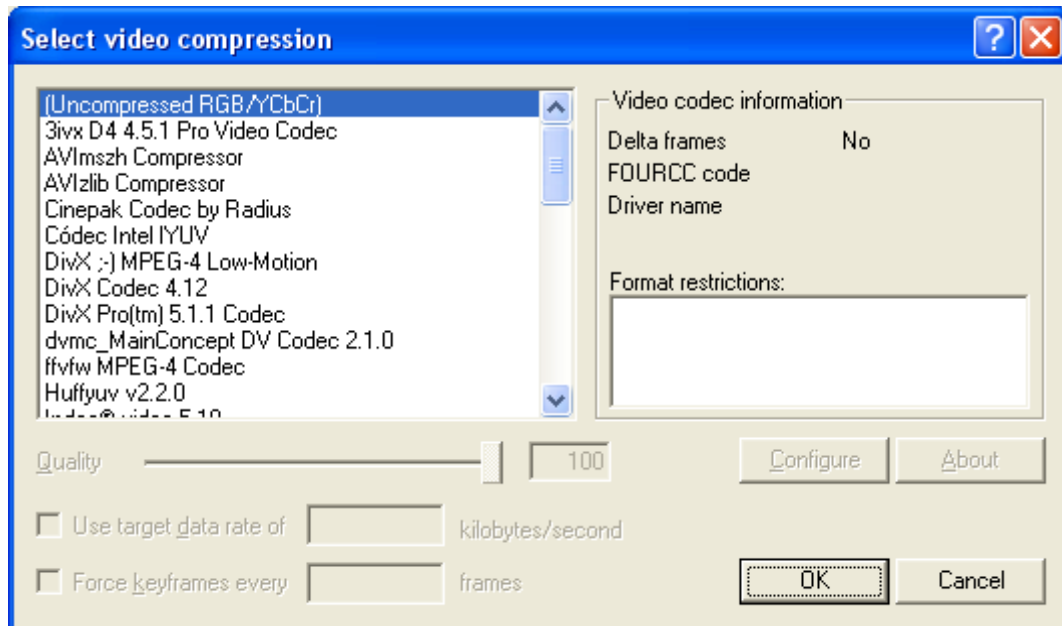


Figura 31: Ventana para elegir el codec y los parámetros del mismo con los que se desea salvar el vídeo

7.7 VQManager

La interfaz gráfica sobre la que VQManager [VQMNGD] muestra sus resultados, es una interfaz web, que es accesible en la dirección <http://localhost:8647/>. Esto es configurable, pero por defecto se muestra ahí. Por tanto, es necesario tener un navegador web instalado para acceder a los resultados. En el presente proyecto se ha empleado el navegador “Firefox”.

VQManager escucha todo el tráfico de la red y filtra los paquetes de VoIP viz, SIP, Skinny, RTP y RTCP y es a partir de estos paquetes de los que obtiene las medidas de la calidad.

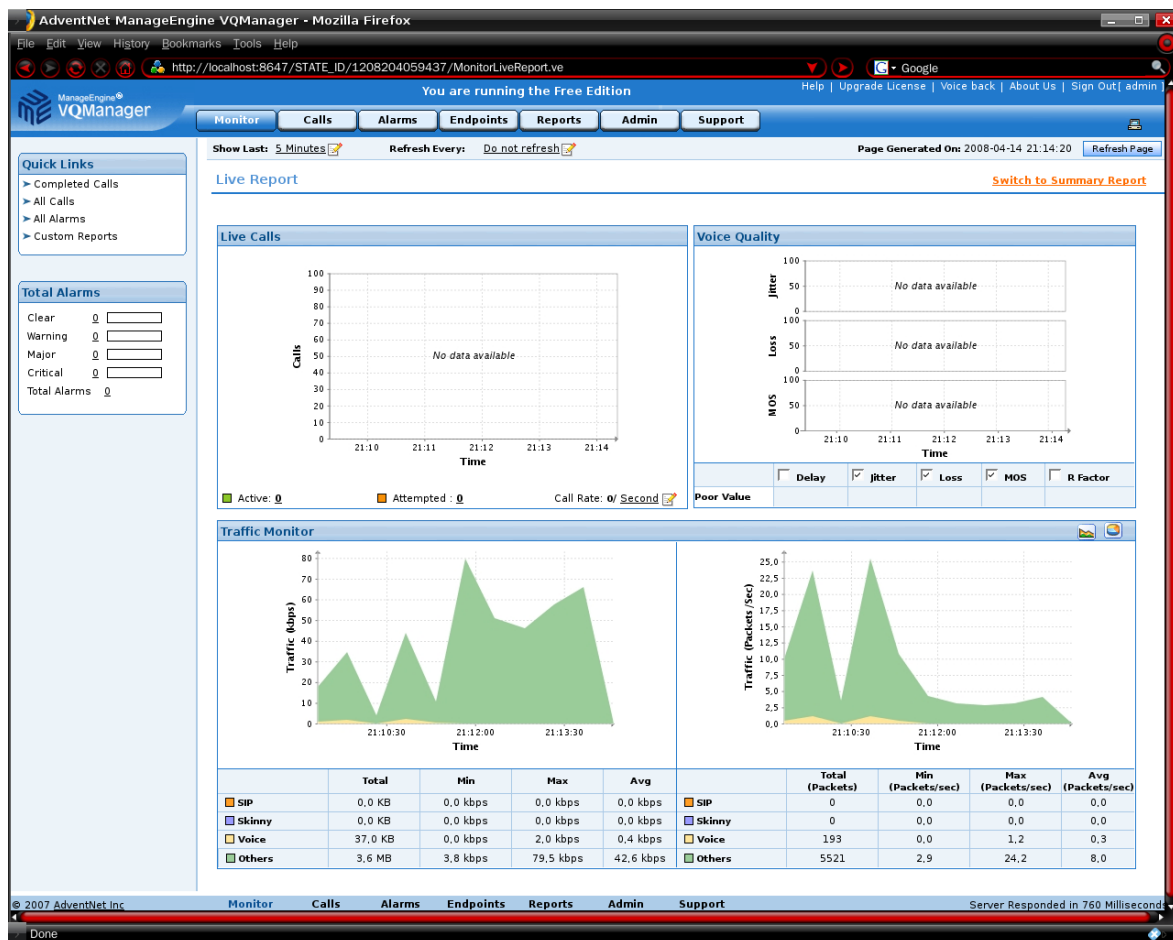


Figura 32: Ventana inicial de VQManager

En la Figura 32 se muestra la interfaz gráfica de VQManager. Concretamente se muestra el contenido de la pestaña “Monitor”. Muestra en tiempo real (con un intervalo de refresco configurable entre 10 segundos a 15 minutos, pulsando sobre “Show last”.) la información del tráfico de red en kbits/s y en paquetes/s (en el frame “Trafic Monitor”), además del número de llamadas activas de voz (en el frame “Live Calls”) y de la calidad de las mismas. El intervalo de tiempo que se desea mostrar también es configurable (desde mostrar sólo los últimos 5 minutos a la última hora) pulsando sobre “refresh every:”.

Las posibilidades de este software son muy amplias, pero como se ha dicho anteriormente, en este proyecto únicamente se utilizará en los equipos finales, para determinar la calidad de voz de una conversación establecida entre dos equipos en dos hogares distintos.

Pinchando sobre la pestaña “Admin” y luego pulsando sobre “Sniffer” dentro de “System settings” se puede seleccionar la interfaz sobre la que se desea escuchar el tráfico de red. Es importante que “Promiscuous Mode” tenga el valor “true”.

Finalmente pinchando sobre el tag “All Calls” dentro del marco “Quick links” y seleccionando la llamada en la que se está interesado en mostrar los resultados, aparecerán unas gráficas con los parámetros de la llamada y una tabla en la que se describen los principales campos del protocolo empleado, como puede observarse en la Figura 33. Incluso se puede seleccionar la franja de tiempo en la que se muestran los parámetros de calidad. Además aparece un diagrama con el detalle del intercambio de paquetes SIP entre los equipos finales.



Figura 33: Detalle de llamada

7.8 SER (SIP EXPRESS Router)

En el “Servidor 1” existe un servidor SIP SER [SER]. Este software es importante para establecer la conexión de audio entre los dos “softphones” (uno en cada casa), sobre la que se medirán los parámetros de calidad de audio.

SIP permite establecer una comunicación con cualquier otro usuario independientemente de su localización geográfica. Únicamente conociendo el identificador del usuario es posible contactar con él, sea cual sea su IP o número de teléfono, siempre que se encuentre registrado en el servidor SIP.

Un servidor SIP puede actuar como **proxi** o **redireccionando las llamadas**:

- Como **proxi**, cuando le llega una petición de establecimiento de llamada, se encarga de transmitir dicha petición al otro extremo interesado, de forma que el solicitante no es consciente de cuál es la localización de la persona a la que está llamando.
- Si actúa **redireccionando**, envía al solicitante la localización actual de la persona con la que quiere establecer la llamada.

SER puede actuar como servidor de redirección y como proxi.

7.9 Kapanga

Kapanga [KAP] es un teléfono software para Windows, que puede obtenerse de forma gratuita. Kapanga permite realizar llamadas y videollamadas utilizando el protocolo SIP para el establecimiento de la conexión.

Existe uno de estos teléfonos en cada casa y ambos deben registrarse contra el servidor SIP. Es necesario configurar las direcciones del servidor SIP en los teléfonos y al arrancarse envían de forma automática los mensajes necesarios para su registro.

8 Referencias

8.1 Entidades

- [MUSE] Multi Service Access Everywhere (MUSE)
Página oficial del proyecto de cooperación europeo en cuyo marco se desarrolló la implementación del prototipo.
Ubicación: <http://www.ist-muse.org/>
- [ITU] International Telecommunication Union (ITU)
Ubicación: <http://www.itu.int>
- [ETSI] European Telecommunications Standards Institute (ETSI)
Ubicación: <http://www.etsi.org>
- [TTA] Telecommunications Technology Association (TTA)
Ubicación: <http://www.tta.or.kr/English/new/main/index.htm>
- [ATIS] Alyance for Telecommunications Industry Solutions (ATIS)
Ubicación: <http://www.atis.org>
- [IETF] The Internet Engineering Task Force (IETF)
Ubicación: <http://www.ietf.org/>
- [3GPPP] The 3rd Generation Partnership Project (3GPP)
Ubicación: <http://www.3gpp.org>

- [TISPAN] Telecoms & Internet Services & Protocols for Advanced Networks
Ubicación: <http://www.etsi.org/tispan/>

8.2 Recomendaciones ITU

- [ITUCLAS] Clasificación de normas del ITU-T
Aquí se encuentran disponibles y ordenadas por sector todas las recomendaciones de la ITU, en castellano.
Ubicación: <http://www.itu.int/publications/sector.aspx?lang=es§or=2>
- [ITU-Y.2001] ITU-T Recommendation Y.2001 - General overview of NGN.
Describe de forma genérica las redes de próxima generación.
Fecha de publicación: Diciembre 2004
Ubicación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001/es>
- [ITU-Y2011] ITU-T Recomendación Y2011: Principios generales y modelo de referencia general de las redes de próxima generación
Fecha de publicación: Octubre 2004
Ubicación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2011/es>
- [ITU-J.144] ITU-T Recommendation J.144 - Técnicas de medición objetiva de la percepción de la calidad vídeo en televisión por cable en presencia de una referencia completa.
Habla de los diferentes métodos para obtener medidas de calidad de vídeo objetivas y publica resultados de su relación con las medidas subjetivas. Es uno de los documentos donde se describe la métrica VQM y PSNR.
Fecha de publicación: Marzo 2004
Ubicación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-J.144/es>

- [ITU-G.107] ITU-T Recommendation G.107 - The E-model, a computational model for use in transmission planning
- Acceso a las recomendación G.107. A un tutorial y una herramienta para calcular la MOS según se define en la recomendación G.107
- Fecha de publicación: Marzo 2005
- Ubicación: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/introduction.htm>
- [ITU-Y.1540] ITU-T Recomendación Y.1540: Servicio de comunicación de datos con protocolo Internet - Parámetros de calidad de funcionamiento relativos a la disponibilidad y la transferencia de paquetes de protocolo Internet
- Fecha de publicación: Abril 2003
- Ubicación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1540/es>
- [ITU-Y.1541] Objetivos de calidad de funcionamiento de red para servicios basados en el protocolo Internet.
- Fecha de publicación: Febrero de 2006
- Ubicación: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1541/es>

8.3 Recomendaciones ETSI

- [ETSI-NGN] Clasificación de las recomendaciones de ETSI TISPAN referentes a NGN.
- Ubicación: <http://www.tech-invite.com/Ti-tispan-standards.html>
- [ETSI-TS.185] ETSI TS 185 001 V1.1.1: Telecommunication and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); Next Generation Network (NGN); Quality of Service (QoS) Framework and Requirements.
- Relación entre las calidades de servicio definidas por el ITU y 3GPPP.
- Fecha de publicación: Noviembre 2005
- Ubicación: <http://www.tech-invite.com/Ti-tispan-standards-c.html#ts-185-001>

[DRAFTS] Directorio donde pueden encontrarse los diferentes borradores publicados por TISPAN sobre NGN

Ubicación: http://portal.etsi.org/docbox/TISPAN/Open/NGN_Published/

[ETSI-TS.123]ETSI TS 123 107 V7.1.0: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 23.107 version 7.1.0 Release 7)

Especificación aprobada por TSG, en la que se trata el aspecto de QoS en redes móviles.

Fecha de publicación: Octubre 2007

Ubicación:

<http://electronics.ihs.com/document/abstract/MTQWGBAAAAAAAAAA>

[ETSI 181 001]ETSI TS 181 001 V1.1.1 (16 p.) NGN-R1: Videotelephony over NGN - Stage 1 service description.

Habla sobre la provisión de servicios de videoconferencia sobre NGN y su interacción con PSTN. Indica qué parámetros resulta interesante medir como indicadores de calidad, y además hace recomendaciones sobre la forma en que los teléfonos se conectan y los servicios que estos deben ser capaces de soportar: llamada en espera, cambio entre audio y vídeo, etc.

Fecha de publicación: Marzo 2006

Ubicación: <http://www.tech-invite.com/Ti-tispan-standards.html>

[ETSI-TR-181]Acceso a la norma ETSI TR 181.004 v1.1.1: Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking (TISPAN); NGN Generic capabilities and their use to develop services

Fecha de publicación: Marzo 2006

Ubicación;

http://pda.etsi.org/pda/home.asp?wiki_id=nkZLiT.4GMJLKKNNQm.N-

8.4 Request for comments

[RFC2681] RFC 2681 A Round-trip Delay Metric for IPPM

Versa sobre como llevar acabo medidas de RTT y los factores que influyen en dicha medida. Por ejemplo “ping” utiliza ICMP y aquí se advierte que no todos los routers procesan dichos paquetes por el camino más rápido. Esto no afecta en el caso de la red del laboratorio donde sólo hay un camino posible.

Autores: G. Almes; S. Kalidind; M . Zekauskas

Fecha de publicación: Septiembre de 1999

Ubicación: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2681.txt>

[ICMP] Protocolo ICMP breve descripción y enlaces a las RFC donde se define.

Ubicación: <http://es.wikipedia.org/wiki/ICMP>

[RFC3261] RFC 3261 SIP: Session Initiation Protocol

RFC en la que se describe el protocolo SIP (Sesion Initiation Protocol)

Autores: J. Rosenberg; H. Schulzrinne; G. Camarillo; A. Johnston; J. Peterson; R. Sparks; M. Handley; E. Schooler;

Fecha de publicación: Junio 2002

Ubicación: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3261.txt>

[RFC3393] RFC 3393: IP Packet Delay Variation Metric for IP Performance Metrics (IPPM)

Autores: C. Demichelis; P. Chimento

Fecha de publicación: Noviembre 2002

Ubicación: <http://www.ietf.org/rfc/rfc3393.txt>

[RFC1889] RFC 1889: A Transport Protocol for Real-Time Applications

Autores: H. Schulzrinne; S. Casner; R. Federick; V. Jacobson

Fecha de publicación: Junio 1996

Ubicación: <http://www.ietf.org/rfc/rfc1889.txt>

8.5 Software

- [IPERF] Sitio del proyecto Iperf. Software para la generación de tráfico TCP y UDP
Autor: NLANR/DAST
Ubicación: <http://iperf.sourceforge.net/>
- [VQMNGD] Página para descargar el programa VQManager, y enlaces a la descripción y manuales del mismo.
Autor: ManageEngine
Ubicación: <http://manageengine.adventnet.com/products/vqmanager/download.html?free>
- [VQMTR] Sitio de Video Quality Research. Desarrolladores de Video Quality Metric (VQM) Software
Ubicación: <http://www.its.bldrdoc.gov/n3/video/index.php>
- [VLCSTR] Tabla con posibles contenedores y codificadores de vídeo utilizados por VLC, dentro del sitio del software “VideoLAN – VLC Media Player”. Distribuido de forma gratuita con licencia GPL.
Autores: Varios
Ubicación: <http://www.videolan.org/streaming-features.html>
- [VLCH] Manual para hacer streaming con VLC.
Autores: Alexis de Lattre; Johan Bilien; Anil Daoud; Clément Stenac; Antoine Cellerier; Jean-Paul Saman
Ubicación: <http://www.videolan.org/doc/streaming-howto/en/index.html>
- [MCOD] MediaCoder, sitio de descarga e información.
Autor: Stanley Huang
Ubicación: <http://mediacoder.sourceforge.net/>

- [VDUB] VirtualDb, sitio de descarga e información
Ubicación: <http://www.virtualdub.org/>
- [PING] Página de ayuda del comando Ping de Linux, que forma parte del paquete de herramientas IP para Linux. Con este comando se puede enviar tráfico ICMP.
Ubicación: <http://linux.die.net/man/8/ping>
- [EVLVD] EvalVid - A Video Quality Evaluation Tool-set
Autores: Jirka Klaue, Berthold Rathke, Adam Wolisz
Ubicación: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/>
- [SER] Página del proyecto SER (SIP Express Router). SER es un servidor SIP. Distribuido de forma gratuita con licencia GPL.
Ubicación: <http://www.iptel.org/ser/>
- [KAP] Página oficial de Kapanga, softphone SIP sobre windows que puede obtenerse de forma gratuita.
Autor: Ecotronics Ventures LLC
Ubicación: <http://www.kapanga.net/IP/home.cfm>
- [SEAG] Sitio de Seagull. Generador de tráfico multiprotocolo, también se puede utilizar para generar tráfico SIP. Publicado bajo licencia GPL se puede obtener de forma gratuita.
Autores: HP OpenCall Software
Ubicación: <http://gull.sourceforge.net/doc/sip.html>
- [SIPp] Sitio de SIPp. Software de código abierto, gratuito, para la generación de tráfico SIP.
Autores: Richard Gayraud, Olivier Jacques, otros
Ubicación: <http://sipp.sourceforge.net/index.html>

8.6 Otros recursos

- [DADT] ITU-T / ATIS Workshop “Next Generation Technology and Standardization”
Documento en el que se habla de las áreas de trabajo en que están colaborando la ITU y ETSI sobre pruebas y tests en NGN.
Fecha de publicación: Marzo de 2006
Autores: Denis Andreev; Dmitry Tarasov
Ubicación: http://www.itu.int/ITU-T/worksem/ngn/200603/presentations/s5_andreev-tarasov.pdf
- [VIDEOS] Vídeos comúnmente utilizados en pruebas de calidad de vídeo, de tamaño de imagen CIF y QCIF, codificados en H264 sin pérdidas.
Ubicación: <http://www.tkn.tu-berlin.de/research/evalvid/cif.html> -->
- [Ref JTC1] Acceso a las normas ISO/IEC de la serie 9646 del comité ISO/IEC JTC1
Ubicación: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=28623
- [OSI] Descarga de la norma ISO/IEC 7498-1. Esta es una norma libremente accesible, donde se describe el modelo OSI de división de red en siete capas.
Fecha de publicación: 1994
Ubicación: [http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994\(E\).zip](http://standards.iso.org/ittf/PubliclyAvailableStandards/s020269_ISO_IEC_7498-1_1994(E).zip)
- [IMS] Descripción de la arquitectura IMS propuesta por 3GPP y enlaces a los principales documentos de los diferentes organismos de estandarización.
Ubicación: http://en.wikipedia.org/wiki/IP_Multimedia_Subsystem
- [MOS] Mean Opinion Score MOS) Breve descripción, en inglés y enlaces a recomendaciones interesantes.
Ubicación: http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_Opinion_Score